

The background of the slide is a deep blue space filled with a complex pattern of white and yellow lines and dots, representing the Cosmic Microwave Background (CMB) radiation. These lines form concentric, wavy patterns that suggest the expansion of the universe from a central point.

Κοσμική Ακτινοβολία: Η ποικιλόμορφη αγγελιοφόρος του Σύμπαντος

Δρ. Νεκταρία Γκιζάνη,



Ελληνικό Ανοικτό Παν/ο, Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Δομή της ομιλίας

- Γενικά περί Κοσμικής Ακτινοβολίας
- Από πού προέρχεται – Πηγές Κοσμικής ακτινοβολίας (supernova, sun, extragalactic)
- (Εκτεταμένοι) Καταιγισμοί = βροχή
- Πειράματα μέτρησης Κοσμικής ακτινοβολίας
- Τι επίδραση έχει πάνω στο κλίμα της γης
- Τι επίδραση έχει πάνω στον άνθρωπο

**Συνέχεια ο ουρανός βρέχει ασήμι, χρυσάφι, χαλκό
ψευδάργυρο, υδρογόνο, οξυγόνο και άλλα άτομα
(αόρατα).**

**Τα άτομα αυτά ταξιδεύουν προς τη γη ομαδικά, με
την ταχύτητα του φωτός, με σταθερό ρυθμό,
πλημμυρίζοντας τον πλανήτη από όλες τις
διευθύνσεις .**

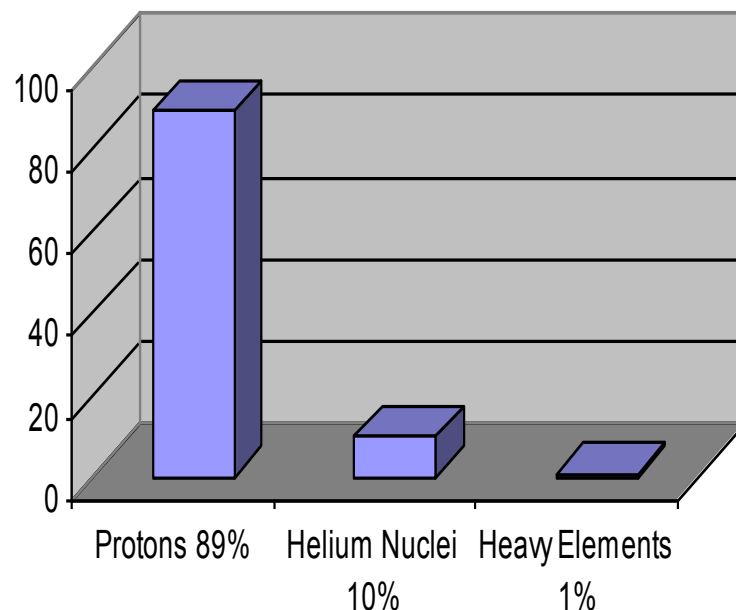
**Αν δεν είχαμε τις προστατευτικές ομπρέλες της
ατμόσφαιρας και της μαγνητόσφαιρας θα είχαμε
«βραχεί ως το κόκκαλο»!!**

Κοσμική Ακτινοβολία

- Η κοσμική ακτινοβολία είναι μια ροή από ιονισμένα άτομα (δηλαδή πυρήνες χωρίς ηλεκτρόνια).

Στην πρωτογενή της σύνθεση περιέχονται από πρωτόνια (υδρογόνο) έως πυρήνες σιδήρου ή άλλους βαρύτερους
Πυρήνες (όλα τα στοιχεία του Π.Σ.)

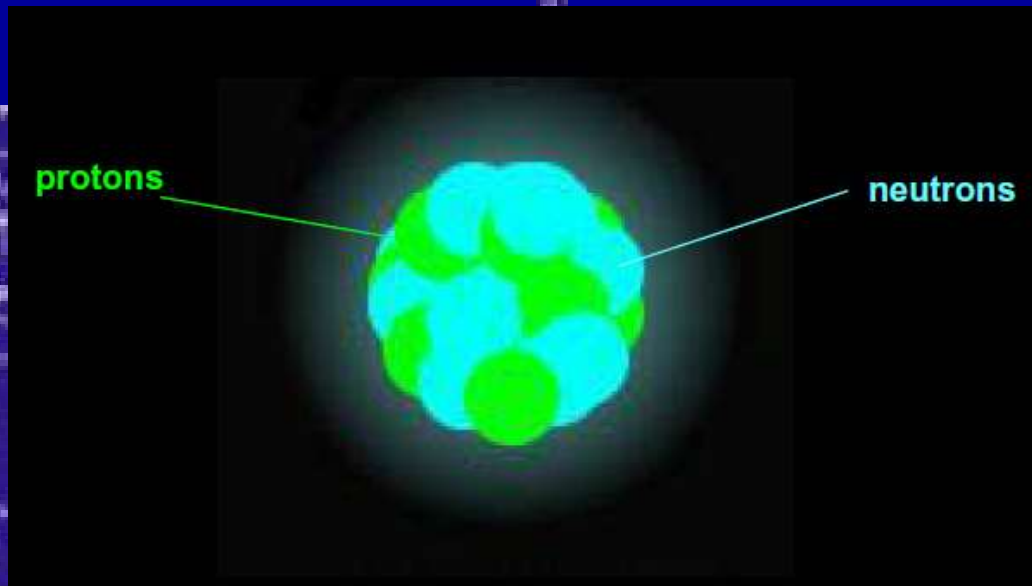
Συνηθισμένη κοσμική ακτινοβολία είναι σωμάτια άλφα (3 πρωτόνια , 2 νετρόνια)

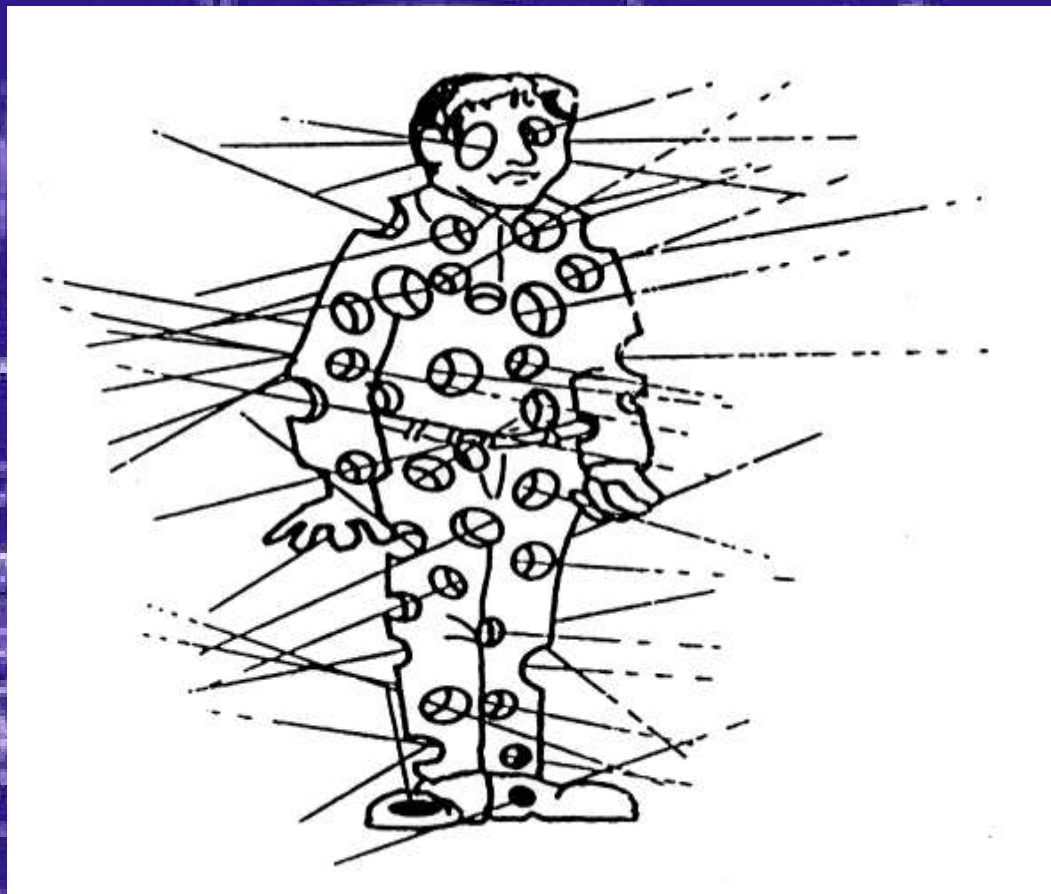


- Τα πρωτογενή σωματίδια έχουν ενέργειες από 10^9 eV έως 10^{21} eV.
- eV είναι μονάδα ενέργειας. Λάμπα ανάγνωσης 40 W χρησιμοποιεί $\sim 10^{34}$ eV ενέργειας σε μια ώρα.

Η κοσμική ακτινοβολία με ενέργειες στην περιοχή από 10^{12} eV έως 10^{15} eV (περιοχή TeV-PeV) είναι:

- 50% πρωτόνια
- 25% σωματίδια άλφα
- 13% πυρήνες C, N, και O
- <1% ηλεκτρόνια
- <0.1% ακτίνες γ





Επομένως η κοσμική ακτινοβολία: σωματίδια υψηλής ενέργειας με ταχύτητα κοντά στη c που βομβαρδίζει τη γη

100.000 σωματίδια περνούν μέσα μας κάθε ώρα.

Victor Hess



- Στις 7 Αυγούστου του 1912 στις 6 το πρωί ο γερμανός επιστήμονας Victor Hess, χρησιμοποίησε έναν ανιχνευτή ακτινοβολίας (απλό ηλεκτροσκόπιο από φύλλο χρυσού) σε πτήση με μπαλόνι.

Αυτό ανέβηκε στα 5350 m και μέτρησε την αύξηση του ποσού της ακτινοβολίας καθώς το μπαλόνι ανέβαινε.



Victor Hess



Το 1912 ο Pierre Auger ανακάλυψε βροχή σωματιδίων

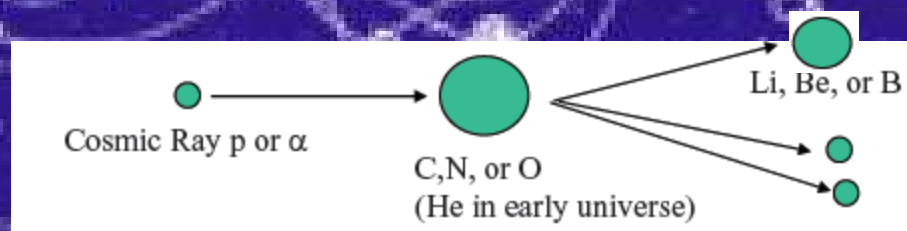
- Ανακάλυψε ότι μέχρι περίπου τα 700 m ο ρυθμός ιονισμού αρχικά μειώθηκε αλλά μετά αυξήθηκε με το ύψος αποδεικνύοντας την ύπαρξη ιονισμού που προέρχεται από το διάστημα.
- Εξήγησε τα αποτελέσματα με την ύπαρξη ακτινοβολίας μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα από το διάστημα

Το 1936 πήρε το βραβείο Nobel

Πρωτογενής κοσμική
ακτινοβολία:
σωματίδια που έρχονται
από το σύμπαν και
προσκρούουν στην
ατμόσφαιρα

Μέσος χρόνος ζωής
 $10 \cdot 10^6$ χρόνια

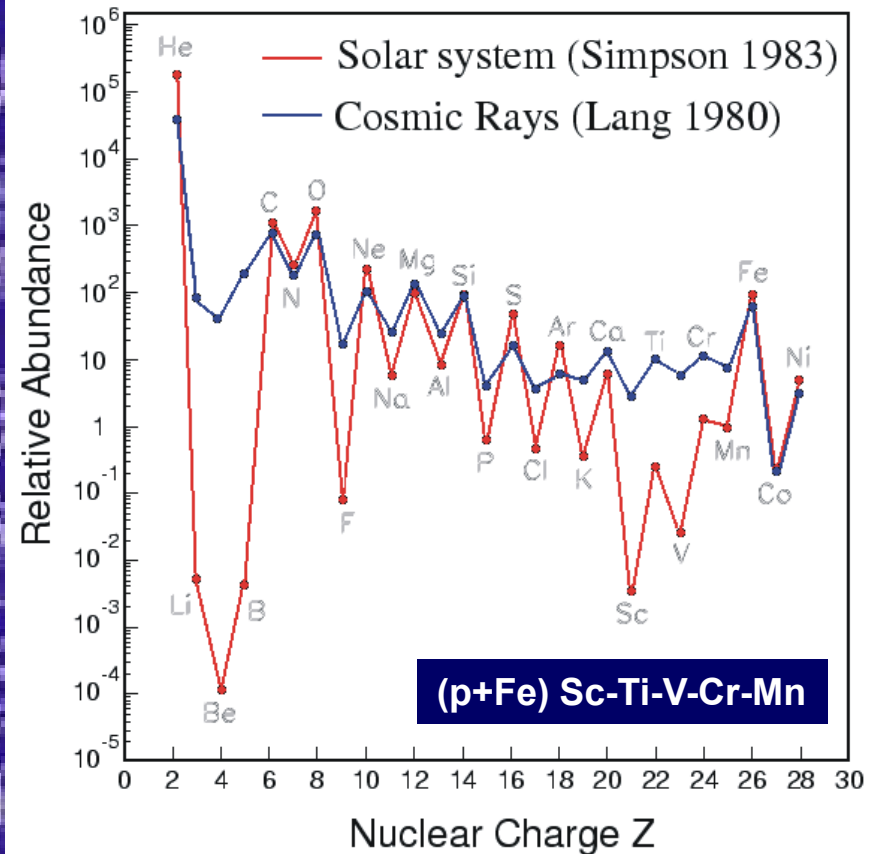
Η πρωτογενής κοσμική
ακτινοβολία έχει
παρόμοια περιεκτικότητα
σε πυρήνες με τον ήλιο
(ηλιακό σύστημα). Η
διαφορές που υπάρχουν
είναι εξαιτίας του
ταξιδιού των σωματιδίων
της κοσμικής
ακτινοβολίας στο
διάστημα.



Σύνθεση ΚΑ στη Γη

Li (εκτός ${}^7\text{Li}$), Be και B δεν παράχθηκαν στην αρχέγονη πυρηνosύνθεση, ούτε δημιουργήθηκαν στα αστέρια. από αντιδράσεις: p (H) και α (He) συγκρούονται με C,N,O σε supernovas.

LiBeB/CNO είναι 10^6 φορές πιο άφθονοι στα GCR (όπως επίσης στοιχεία με subFe)



(p+C/O) Li-Be-B

(p+Fe) Sc-Ti-V-Cr-Mn

Ατομικός αριθμός= # πρωτονίων

Periodic Table of the Elements

Periodic Table of the Elements

The periodic table is color-coded by groups: Group 1 (H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) is yellow; Group 2 (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra) is light blue; Groups 3-10 (Sc to Zn, Y to Hg) are dark blue; Groups 11-12 (Cu to Hg) are light purple; Groups 13-18 (B to Xe, At, Rn) are light green. The lanthanide and actinide series are shown as separate rows at the bottom, labeled with *La and +Ac respectively. Red arrows point from the title to Hydrogen (H) and Helium (He).

1 H																	2 He										
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne				
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																				
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe										
55 Cs	56 Ba	57 *La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn										
87 Fr	88 Ra	89 +Ac	104 Rf	105 Ha	106	107	108	109	110	111	112																

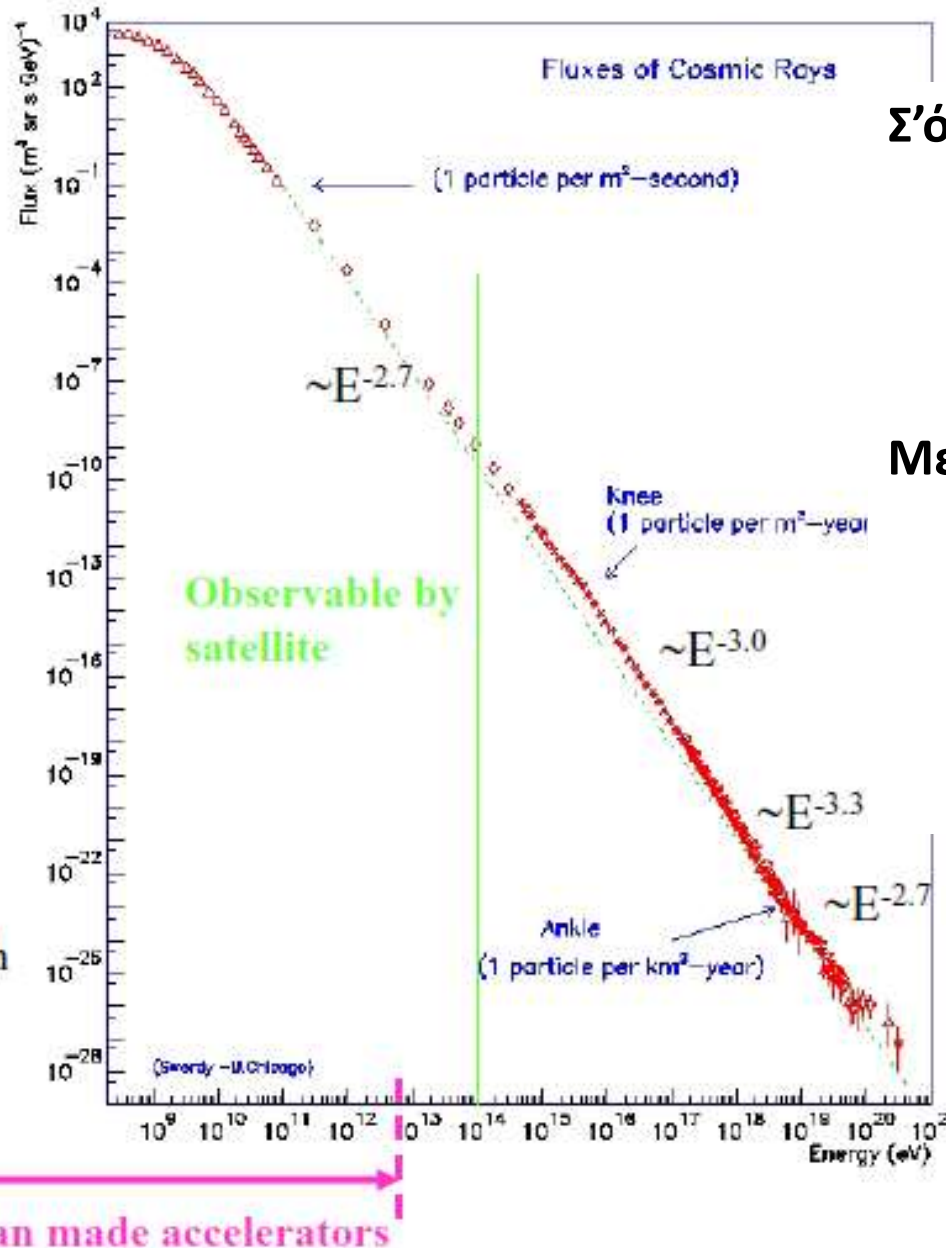
Naming conventions of new elements

* Lanthanide Series

+ Actinide Series

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Energies of primary cosmic rays



Σ'όλη την περιοχή ενεργειών από 1GeV-100EeV το φάσμα ακολουθεί κατανομή power law με δείκτη ~ 3

Μεταβολές στην κλίση εμφανίζονται:

~ 10 PeV (Knee = γόνατο)

~ 5 EeV (Ankle = αστράγαλος)

UHECR's:

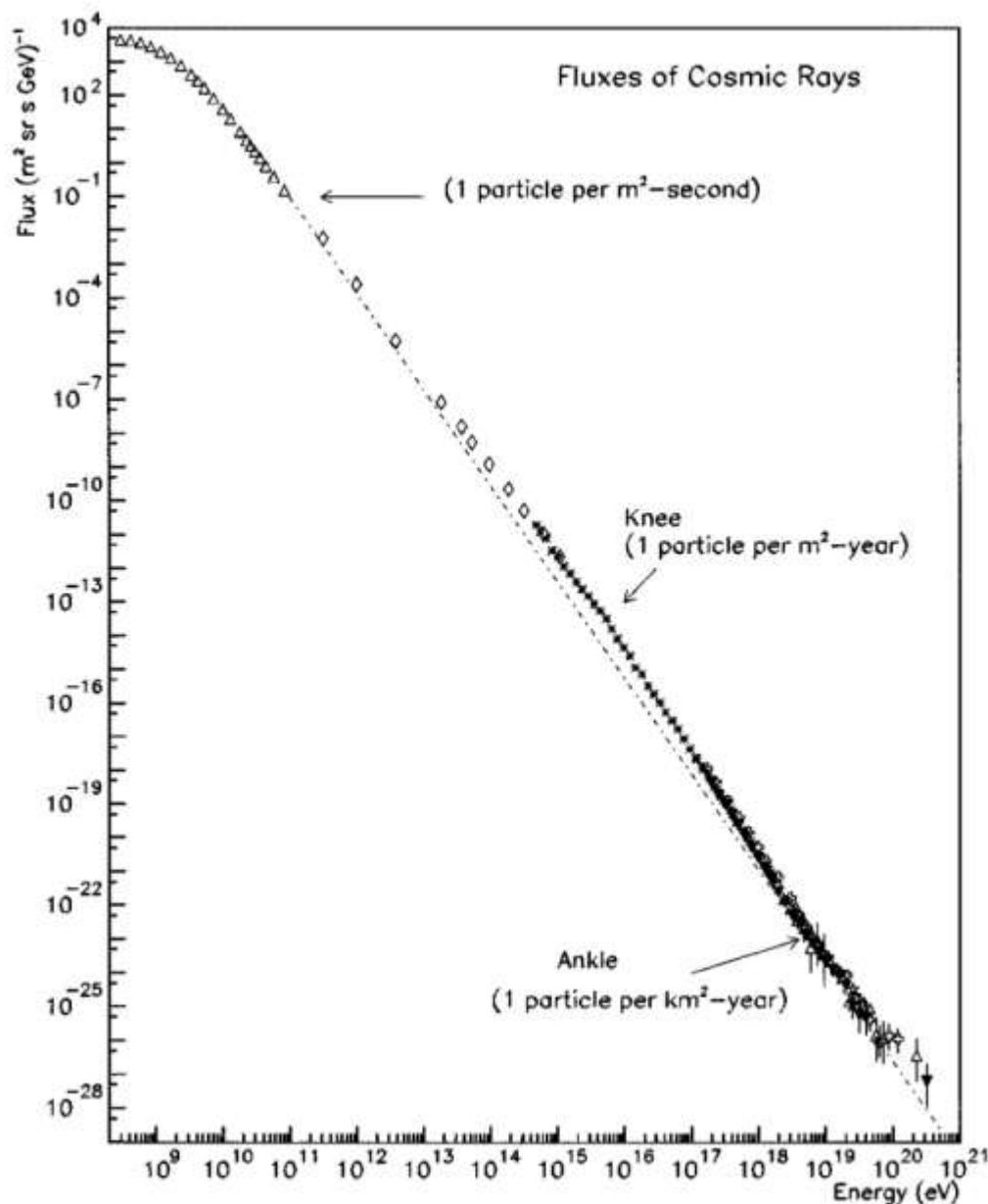
40 events $> 4 \times 10^{19}$ eV
(more by Auger now ...)

7 events $> 1 \times 10^{20}$ eV

Record: October 15, 1991

Fly's Eye: 3×10^{20} eV

Lower energies do not reach earth (but might get collected)



- ΚΑ της τάξης 10^{19} eV και μεγαλύτερη θεωρείται ότι προέρχεται από πηγές σχετικά κοντά στο Γαλαξία μας αλλά άγνωστες ακόμα

A bubble chamber photograph showing multiple tracks of ionizing particles. The tracks are white, branching lines against a dark blue background. Some tracks are straight, while others are curved or spiral. A prominent track in the upper center spirals inward towards a central point. Other tracks branch out from various points, some ending in small, dense clusters of bubbles. The overall pattern is complex and organic, resembling a network of paths or a map of particle interactions.

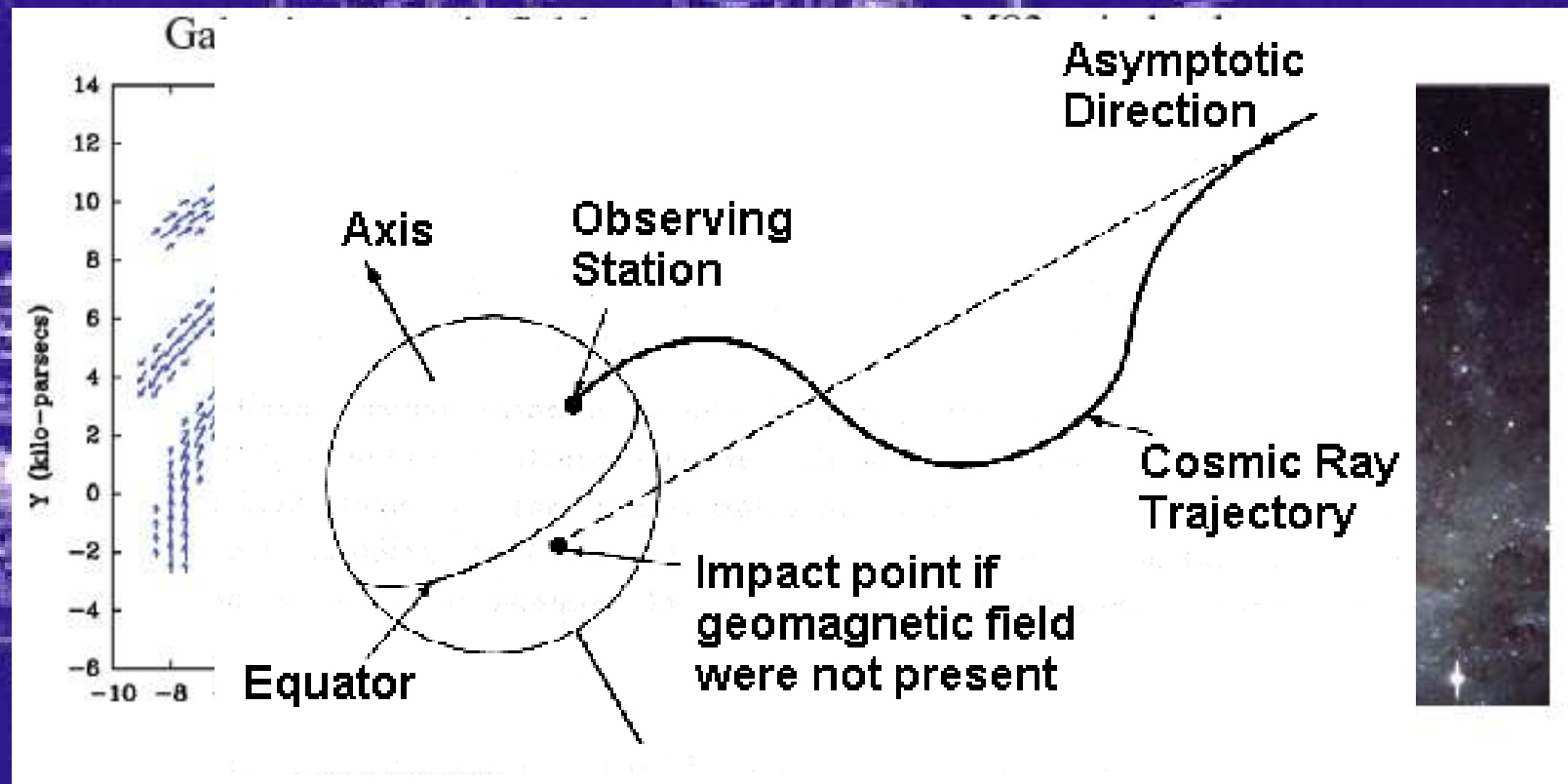
Πηγές κοσμικής ακτινοβολίας

Από πρ



Γιατί δεν κοιτάμε την κατεύθυνση από την οποία έρχεται?

Δεν μπορεί να προσδιοριστεί η κατεύθυνση των σωματιδίων της ΚΑ με $E < 10^{18}$ eV μ' αυτό τον τρόπο λόγω ανάκλασης τους στο γαλαξιακό μαγνητικό πεδίο



Τυπική ένταση μαγνητικού πεδίου: δεκάδες μG (ενδογαλαξιακό 10 nanoG, γης 0.3-0.6)

Η κοσμική ακτινοβολία έχει την αρχή της στο σύμπαν

παράγεται από πηγές όπως:

**Ο ήλιος
Άλλα αστέρια**

Supernova και τα υπολείμματα τους

**Αστέρες Νετρονίων
μαύρες τρύπες
Μακρινούς γαλαξίες**

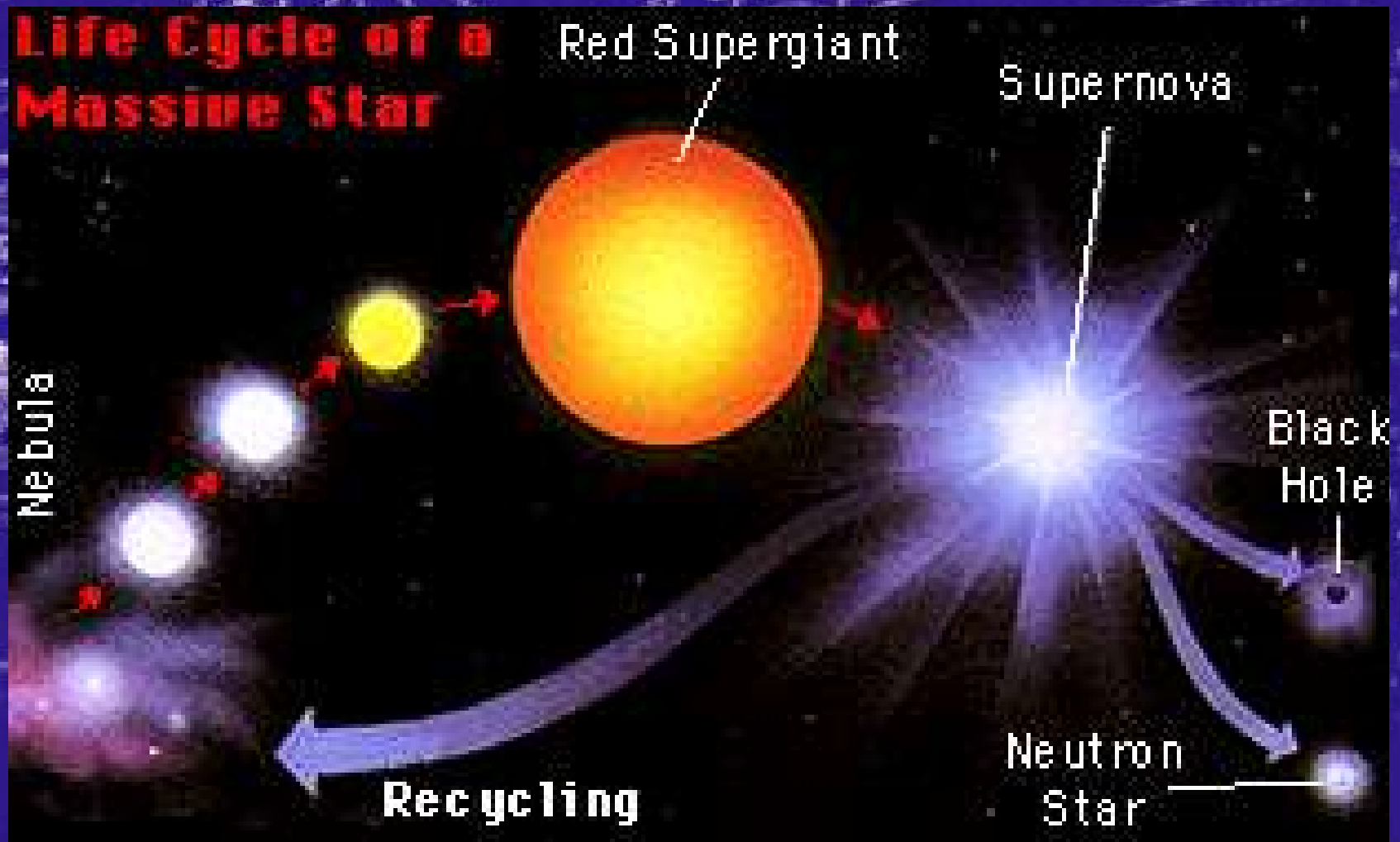
Από πού προέρχονται?

- ΚΑ χαμηλής ενέργειας ($< 10^{10}$ eV) προέρχονται από τον ήλιο.
- Supernovae μάλλον είναι η πηγή σωματιδίων με E μέχρι 10^{15} eV (98% ΚΑ).
- Πηγές ΚΑ πολύ υψηλής ενέργειας (ultrahigh cosmic rays=UHECR) πιθανόν από ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (active galactic nuclei) και πηγές ακτίνων γ (gamma ray bursts).



SouperNova και SN remnants

Η εξέλιξη της Ζωής αστέρα μεγάλης μάζας



Εκρήξεις-Supernova



Ένα supernova μπορεί να ελευθερώσει σε 10 δευτερόλεπτα περισσότερη ενέργεια από ότι μπορεί να παράγει ο ήλιος μας σε 10,000,000,000 χρόνια.

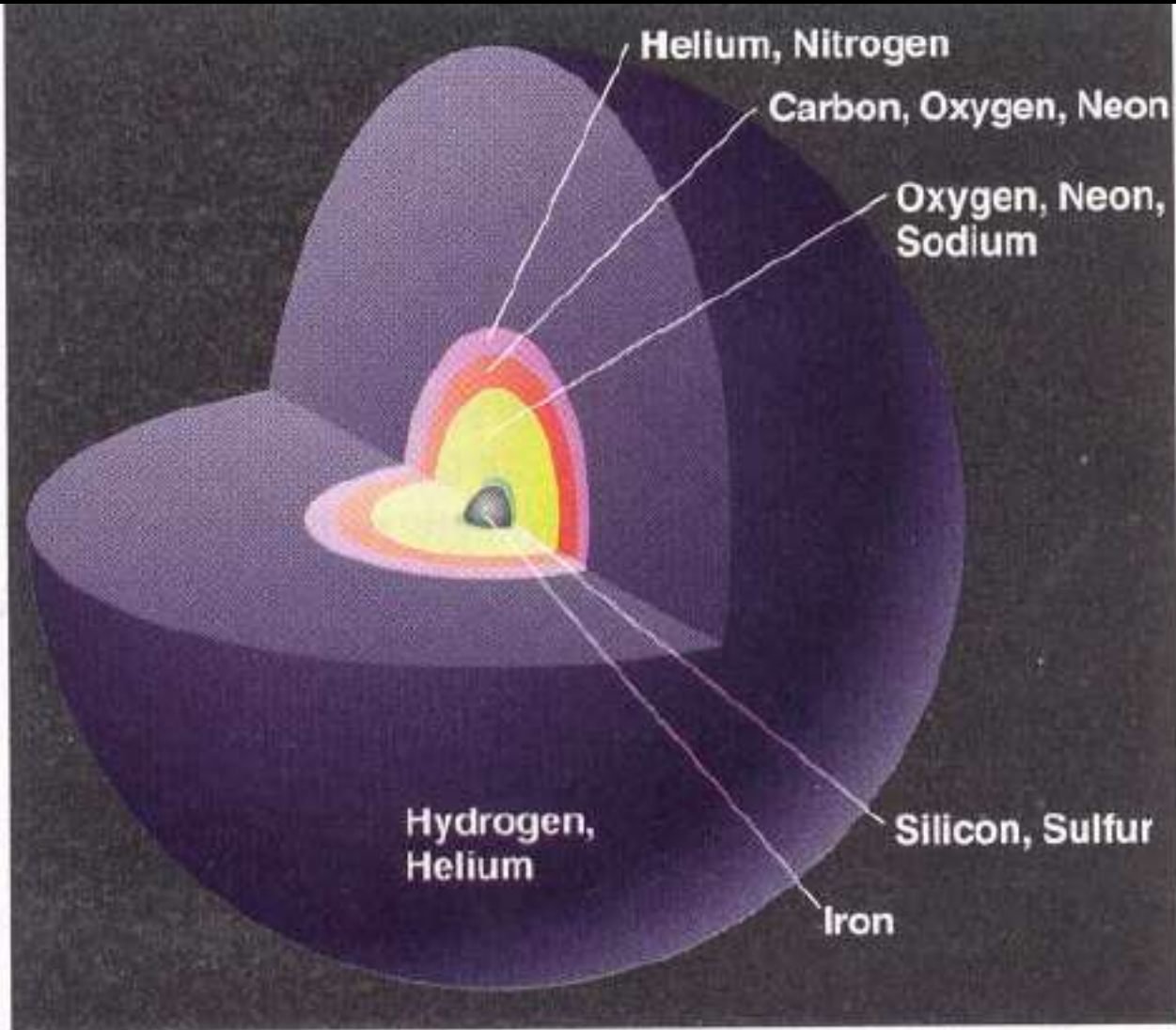
Ένα από τα πιο ενεργητικά γεγονότα στο Γαλαξία.

Συμβαίνει στο τέλος της ζωής ενός αστέρα όταν τα καύσιμα του πυρήνα του έχουν εξαντληθεί και δεν μπορεί πλέον η βαρυτική κατάρρευση να εξισορροπηθεί με την έκλυση πυρηνικής ενέργειας.

Όταν το αστέρι έχει ιδιαίτερα μεγάλη μάζα, τότε ο πυρήνας θα καταρρεύσει και θα εκλυθεί τεράστιο ποσό ενέργειας με έκρηξη. Το κρουστικό κύμα που θα εκτινάξει το υλικό του αστέρα στο ενδοαστρικό μέσο

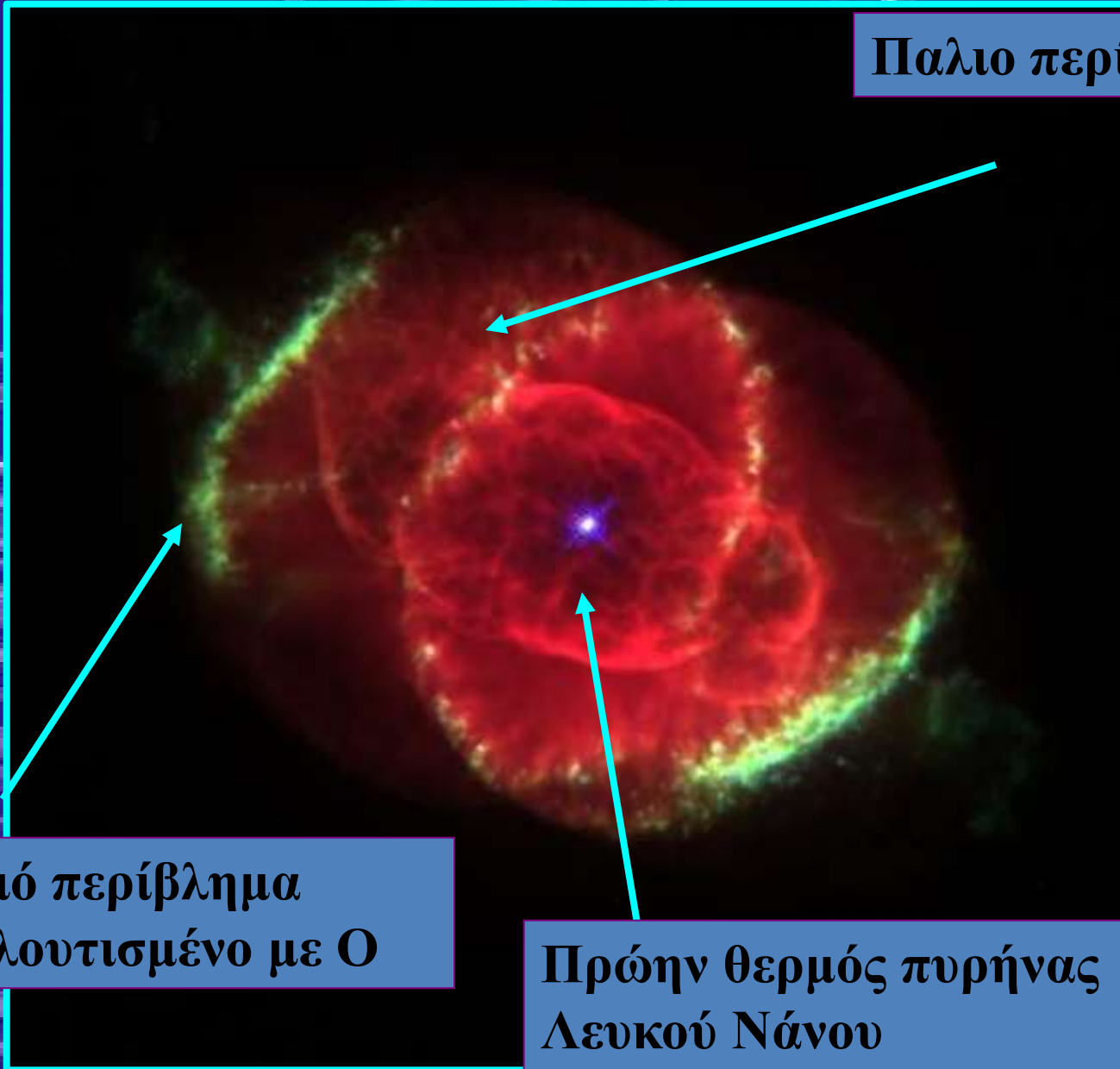
Πολλά supernovae έχουν βρεθεί σε γειτονικούς γαλαξίες αλλά είναι σχετικά σπάνια στο Milky Way (1 με 2 ανά αιώνα) .

Δομή αστέρα μεγάλης μάζας πριν την κατάρρευση



Πυρήνας σιδήρου καταρρέει και προκαλεί έκρηξη SN $\longrightarrow$ απελευθέρωση ενέργειας της τάξης των 10^{51} erg (ταχύτητα εκτόξευσης ~ 10000 km/s). Ο πυρήνας Fe έχει τότε ενέργεια μόνο $30 \cdot 10^6$ eV

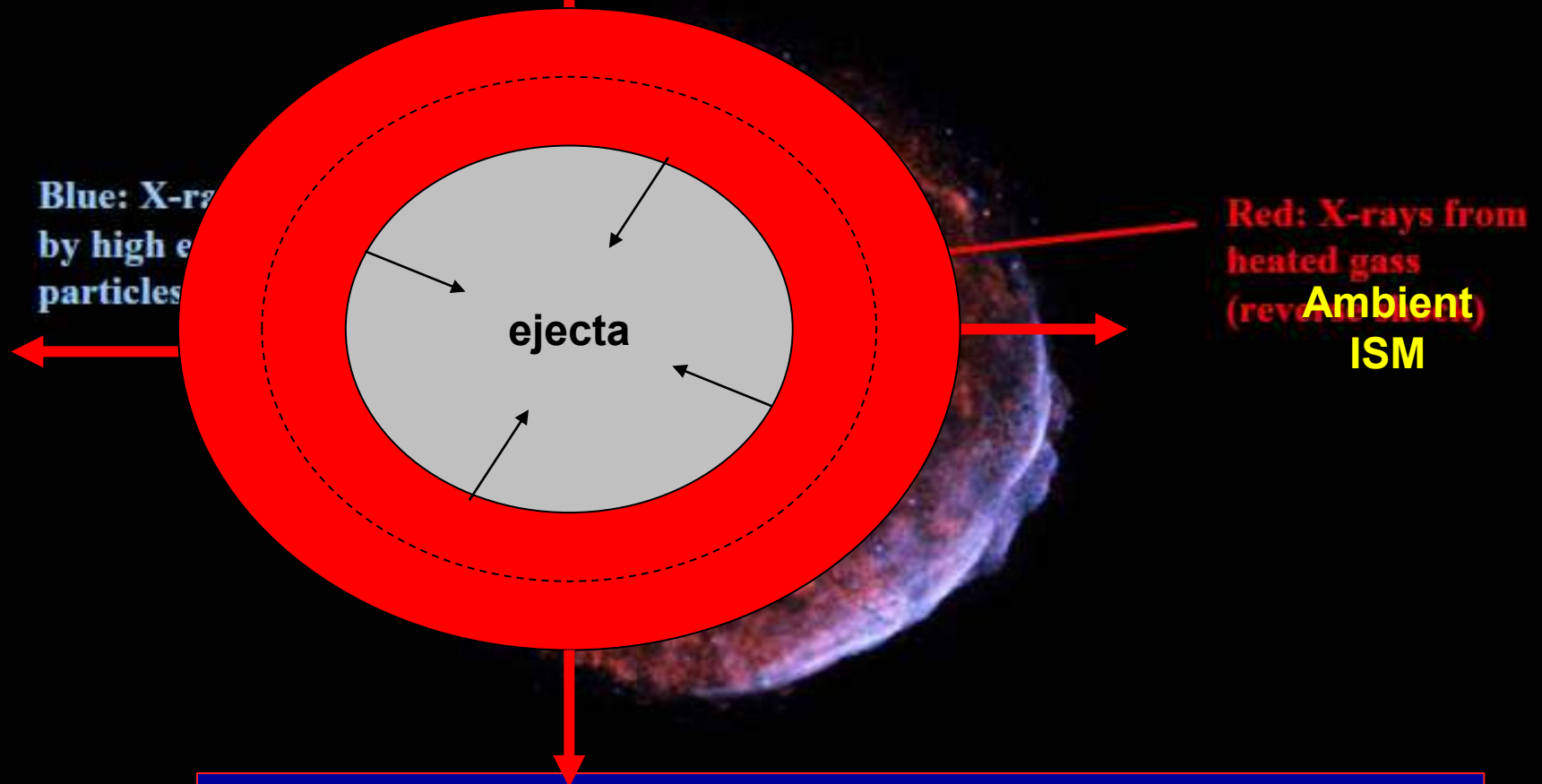
Παλίο περίβλημα Η



Παλιό περίβλημα
Εμπλουτισμένο με Ο

Πρώην θερμός πυρήνας
Λευκού Νάνου

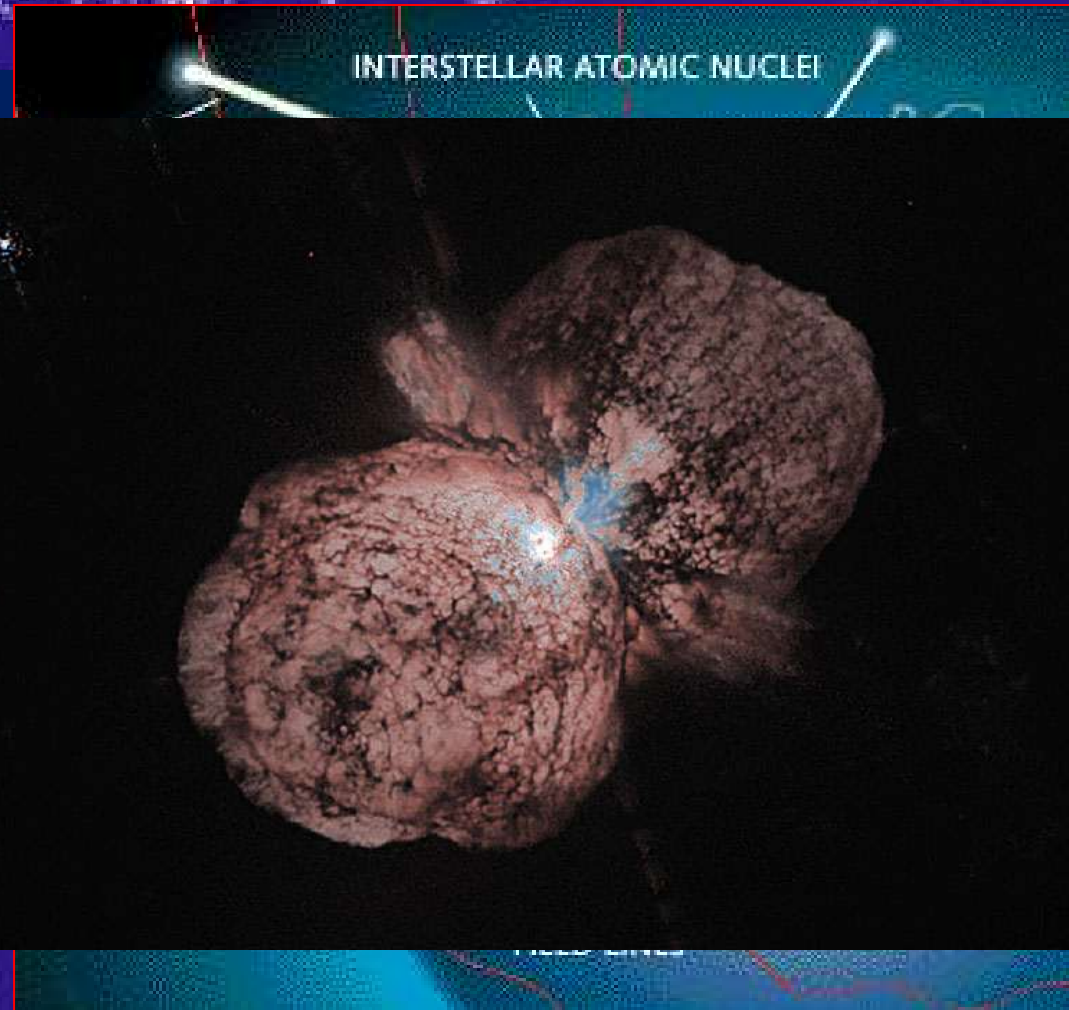
X-ray image by Chandra of Supernova 1006
(7ly away, brightest SN on record, type Ia ?)



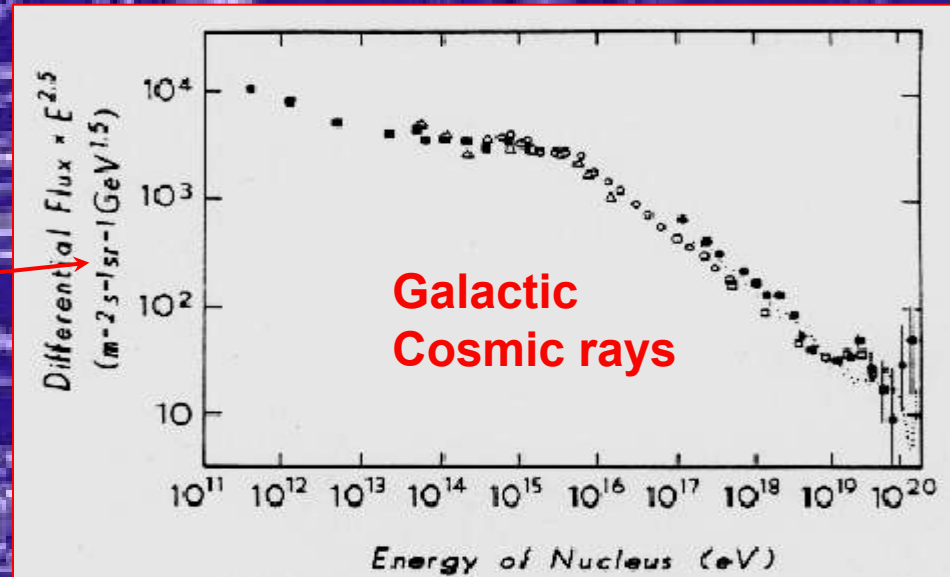
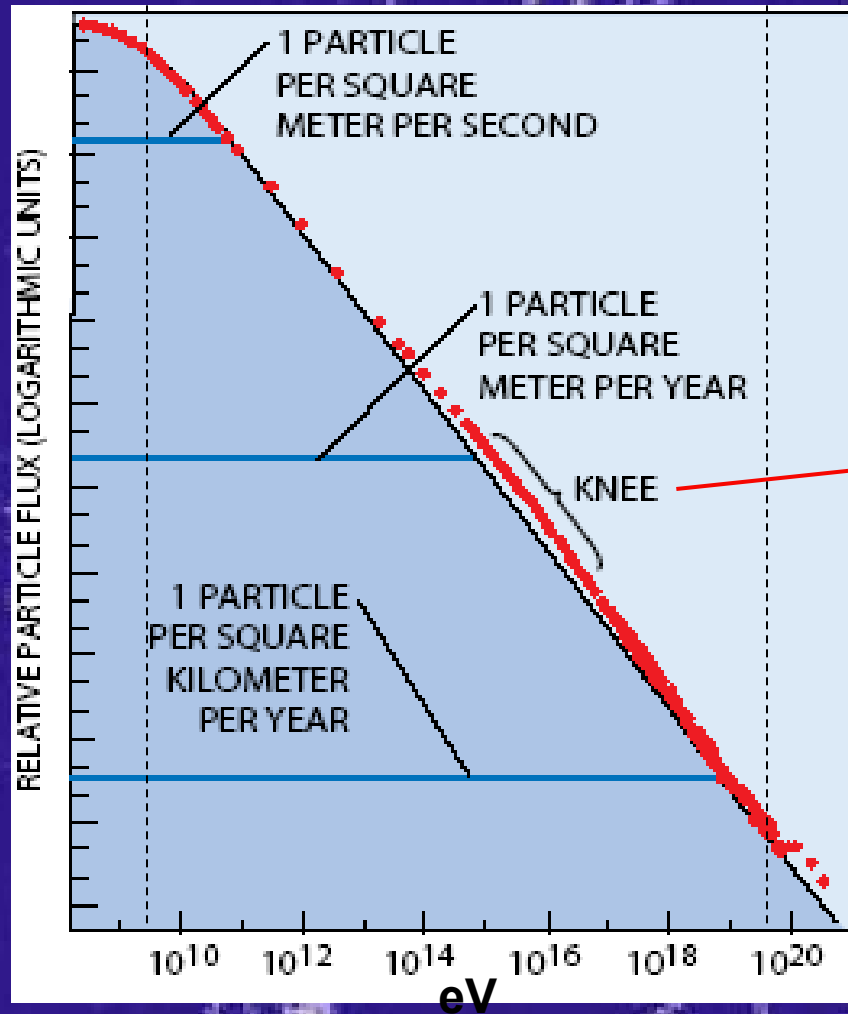
Supernovae κύριες πηγές των GCR
Galactic Cosmic Rays (GCR)

Υπερκαινοφανείς

- Οι πυρήνες της ΚΑ λαμβάνουν ενέργεια = Επιταχύνονται από το κρουστικό κύμα της έκρηξης του supernova
- Επιτάχυνση μέχρι 10^{17} eV/έκρηξη



Φάσμα ΚΑ

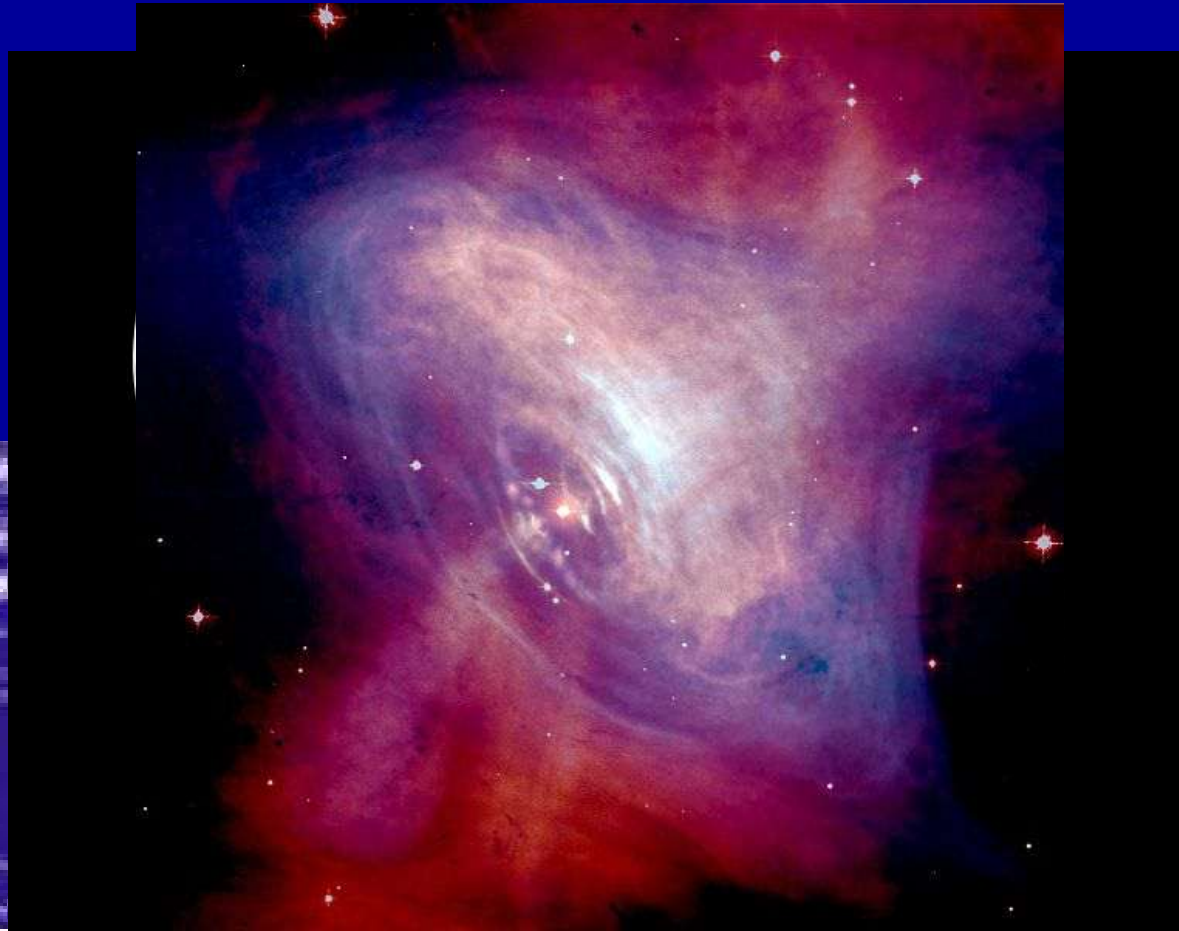


Εξηγείται ο δείκτης του ενεργειακού φάσματος και το «γόνατο»:

βαρύτερα σωματίδια επιταχύνονται σε ψηλότερες ενέργειες: Τα πρωτόνια (H) επιταχύνονται μέχρι το γόνατο 10^{15} eV, ο σίδηρος μέχρι 10^{17} eV (στο γόνατο εξαφανίζονται τα ελαφριά σωματίδια)

Pulsar Wind Nebulae (PWNe)

Ηλεκτρόνια ελευθερώνονται από την επιφάνεια του αστέρα προς τους πόλους επιταχύνονται από το μαγνητικό πεδίο



Ήλιος Αστέρια

Πρωτογενής ΚΑ χαμηλής ενέργειας πολύ μεταβλητή, προέρχεται από γεγονότα που συμβαίνουν στον ήλιο (Solar cosmic radiation).

Το μαγνητικό πεδίο της γης μας προστατεύει από την ΚΑ (πολύ επικίνδυνη)

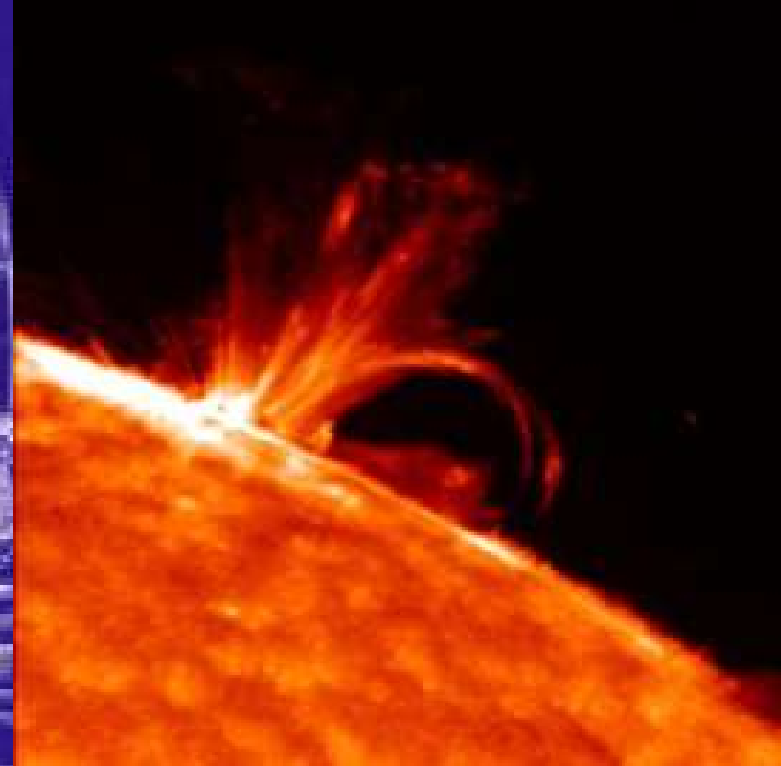
Ηλιακές Εκλάμψεις

Βίαιες εκρήξεις πάνω από την επιφάνεια του ήλιου. Διάρκεια ~ 10 min

Συμβαίνει όταν μαγνητική ενέργεια συσσωρεύεται και ελευθερώνεται ξαφνικά. Τότε σωματίδια (ηλεκτρόνια, πρωτόνια και βαριοί πυρήνες) θερμαίνονται και επιταχύνονται

Ελευθερώνονται τεράστια ποσά ενέργειας της τάξης $>10^{27}$ erg /sec

Το ποσό αυτό ισοδυναμεί με υδρογόνο-βόμβες 100 μεγατόνων που εκρήγνυται ταυτόχρονα ή με ενέργεια 100,000,000 × μεγαλύτερη από αυτή που εκλύεται από έκρηξη ηφαιστείου.

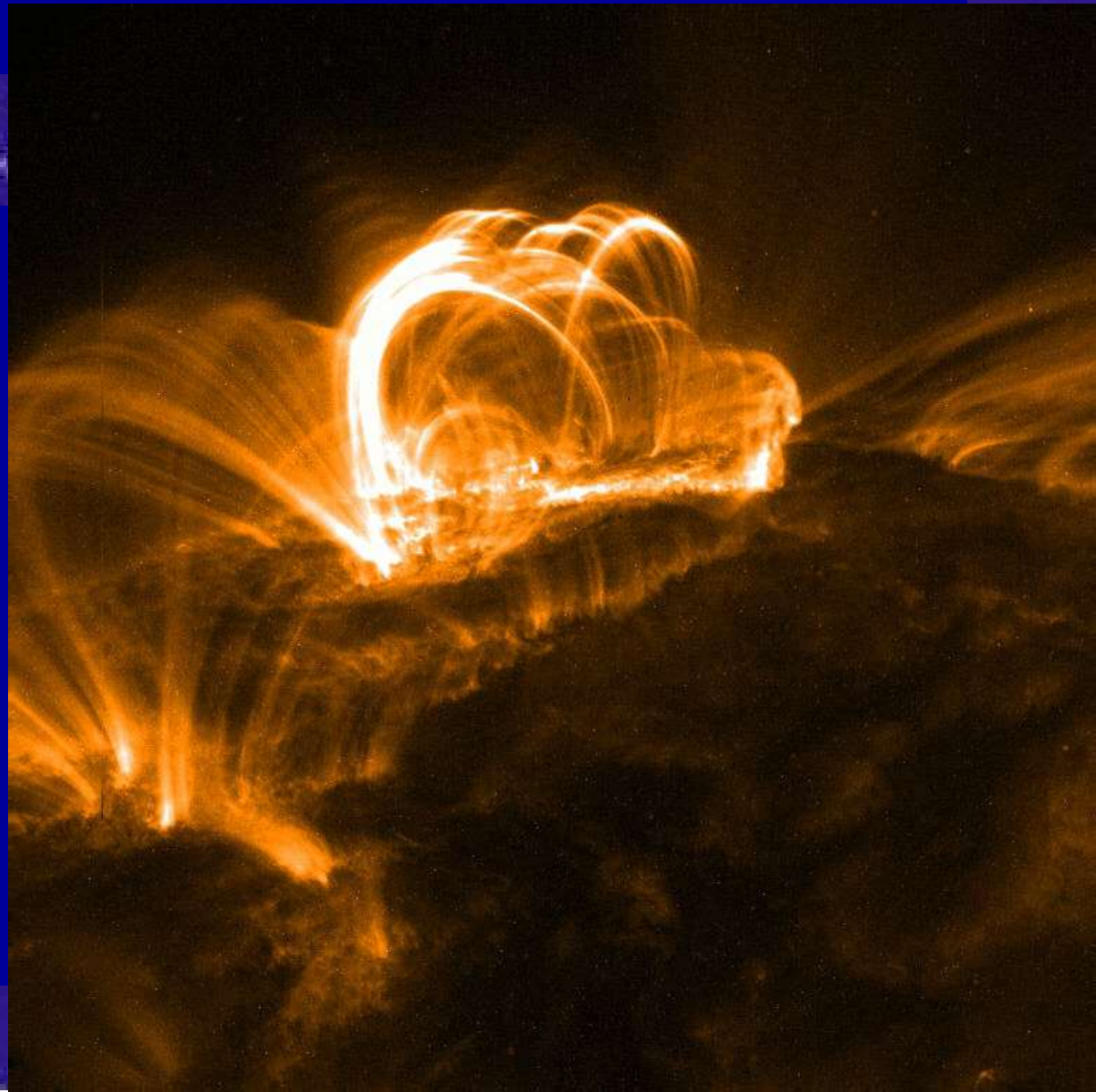


Στέμμα

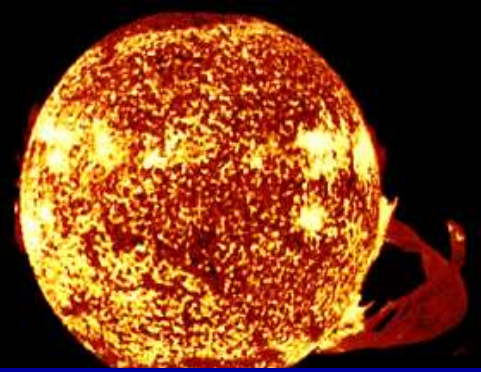


Η μέγιστη ενέργεια που ελευθερώνεται μπορεί να φτάσει περιστασιακά 1 GeV (μια φορά το χρόνο) και 10 GeV μια φορά τη δεκαετία

Οι ηλιακές εκλάμψεις φτάνουν στη γη σε περίπου 8 min και η ανώτερη γήινη ατμόσφαιρα ιονίζεται. Μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, βλάβες σε δορυφόρους, βλάβες στην ηλεκτροδότηση.

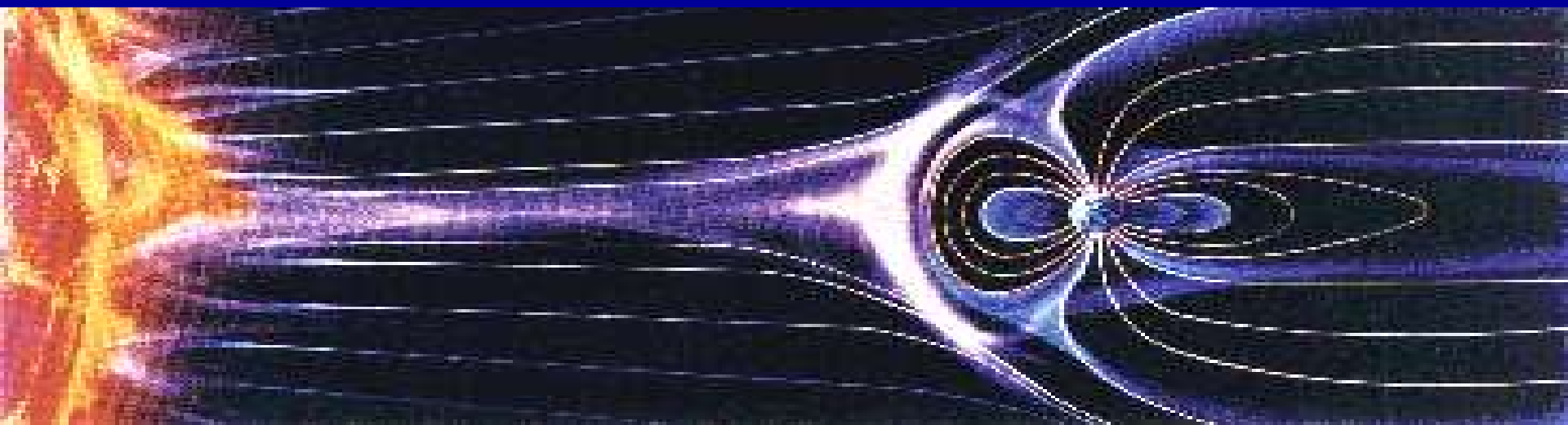


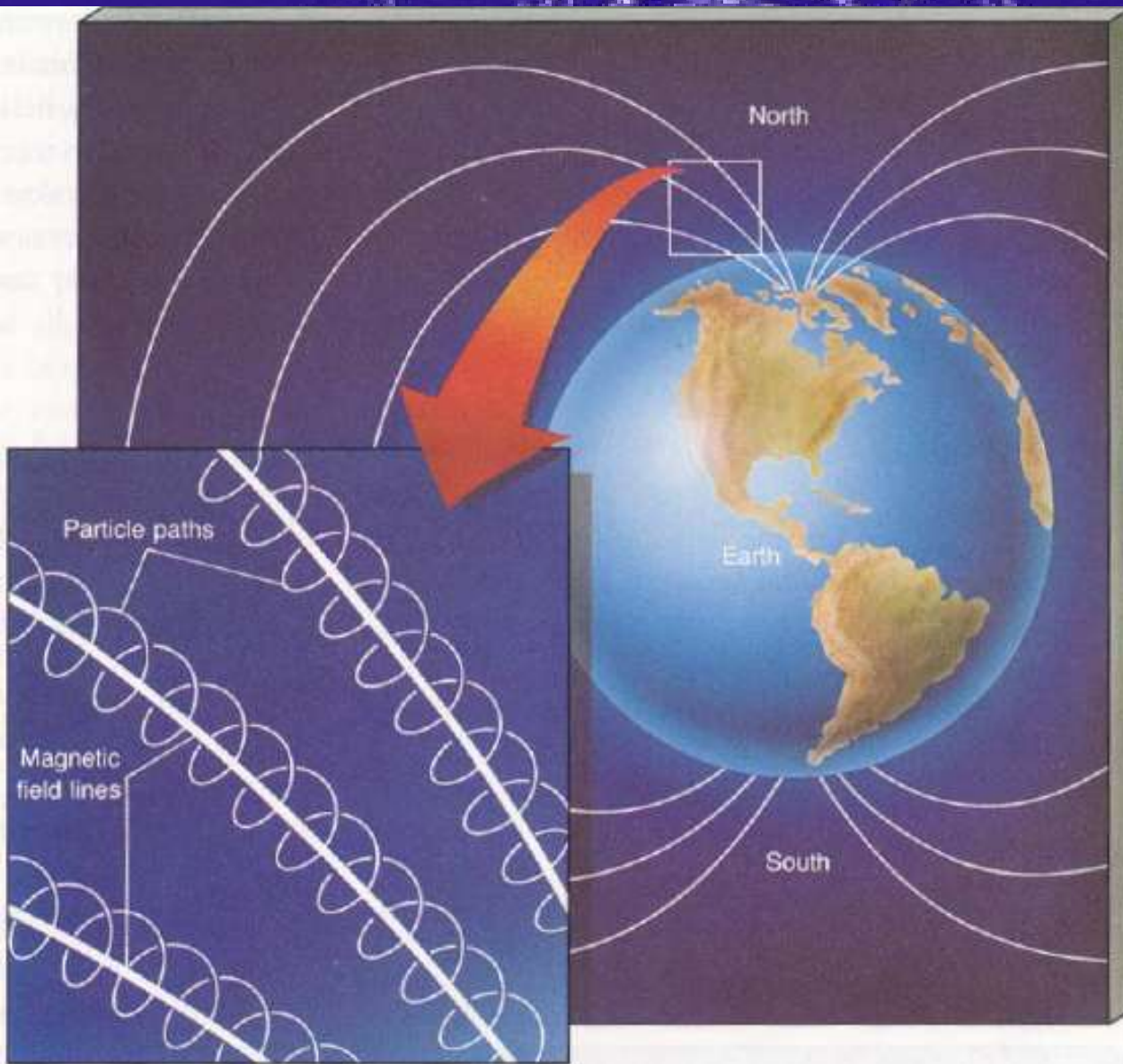
Ενεργητικά Ηλιακά σωματίδια Solar Energetic Particles (SEPs, “solar wind = ηλιακός άνεμος”)



Ο ήλιος είναι μια από τις πηγές της ΚΑ. Πυρήνες και ηλεκτρόνια επιταχύνονται από κρουστικά κύματα στο στέμμα και από μαγνητική ενέργεια που ελευθερώνεται στις ηλιακές εκλάμψεις

Ο ηλιακός άνεμος περιέχει σχεδόν ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων μαζί με βαρύτερα ιόντα και έρχεται συνεχώς από τον ήλιο με μέση ταχύτητα 400 km/sec (αυτό προκαλεί απώλεια μάζας από τον ήλιο κάθε χρόνο, της τάξης των 10 εκατομμυρίων τόνων).





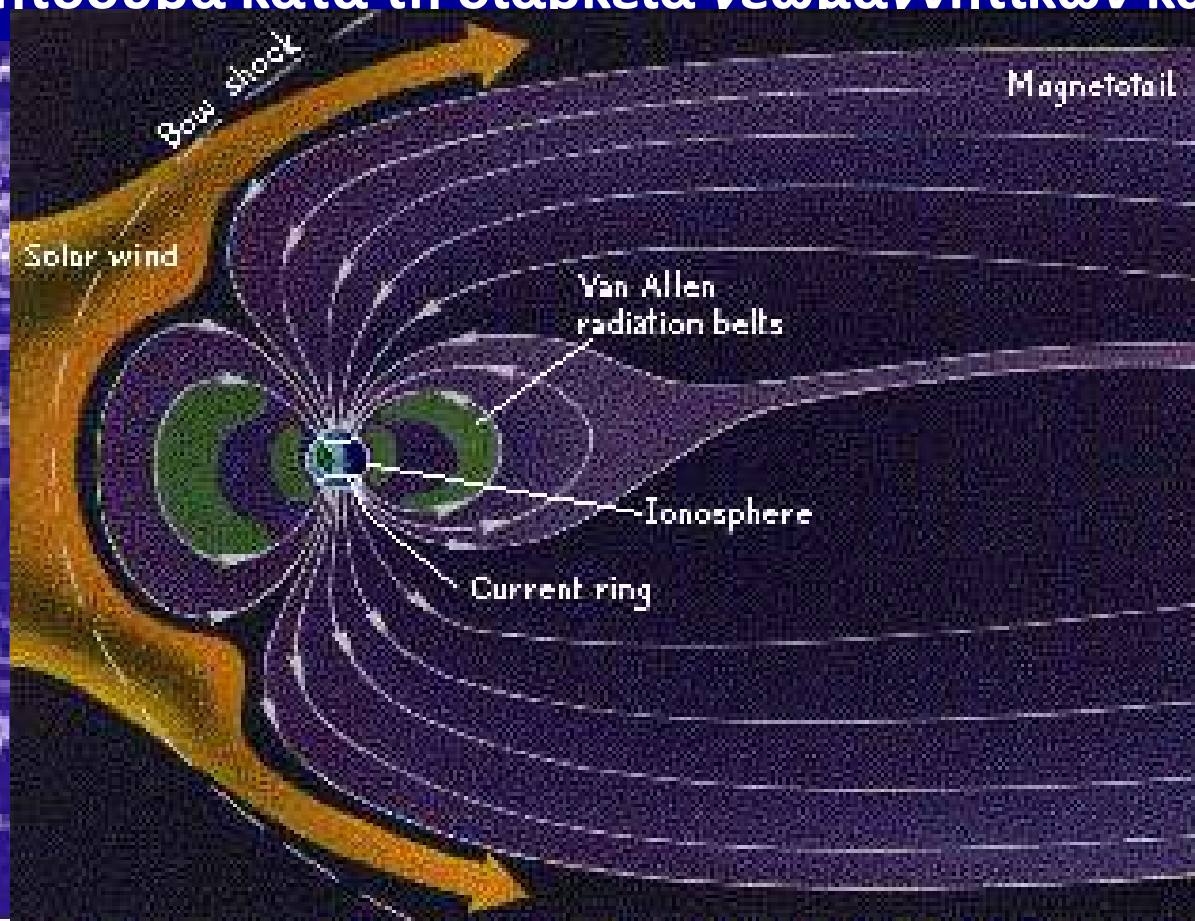
- Τα σωματίδια αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο της γης περιστρεφόμενα γύρω από τις δυναμικές γραμμές

- Παράγεται έτσι συγκέντρωση ΚΑ στο βόρειο και νότιο πόλο.

Εσωτερικές – Εξωτερικές : διαφορετικές φυσικές διεργασίες παραγωγής τους.

Εσωτερική: κυρίως αποτελείται από ενεργητικά πρωτόνια που παράγονται κατά την ανάκλαση νετρονίων που δημιουργούνται από συγκρούσεις της ΚΑ στην ανώτερη ατμόσφαιρα της γης .

Εξωτερική: αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από τη μαγνητοουρά κατά τη διάρκεια γεωμαγνητικών καταιγίδων



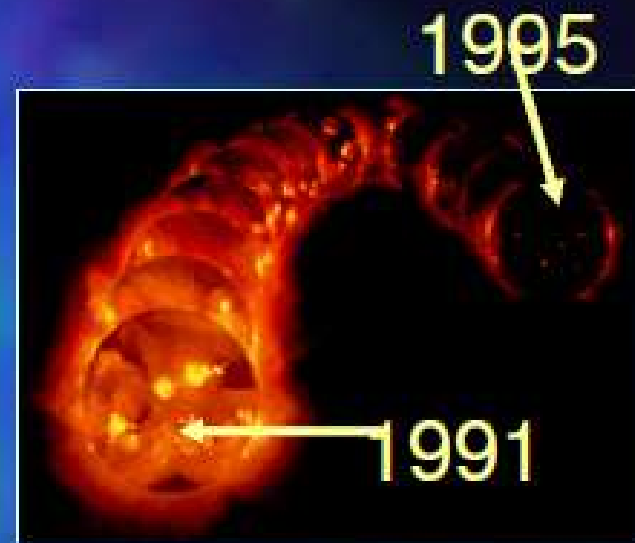
- Κάποιες νύκτες εμφανίζονται φωτεινά σχήματα στον ουρανό. Ονομάζονται Σέλας
- Προκαλούνται από την ΚΑ που ρέει από τον ήλιο και προσκρούει στην ανώτερη ατμόσφαιρα της γης
- Η ενέργεια από αυτά τα φορτισμένα σωματίδια μετατρέπεται σε φως και δημιουργούνται λάμπες τοξοειδής σχηματισμοί κλπ., συνήθως σε πράσινο χρώμα αλλά μπορεί και μωβ, κόκκινο

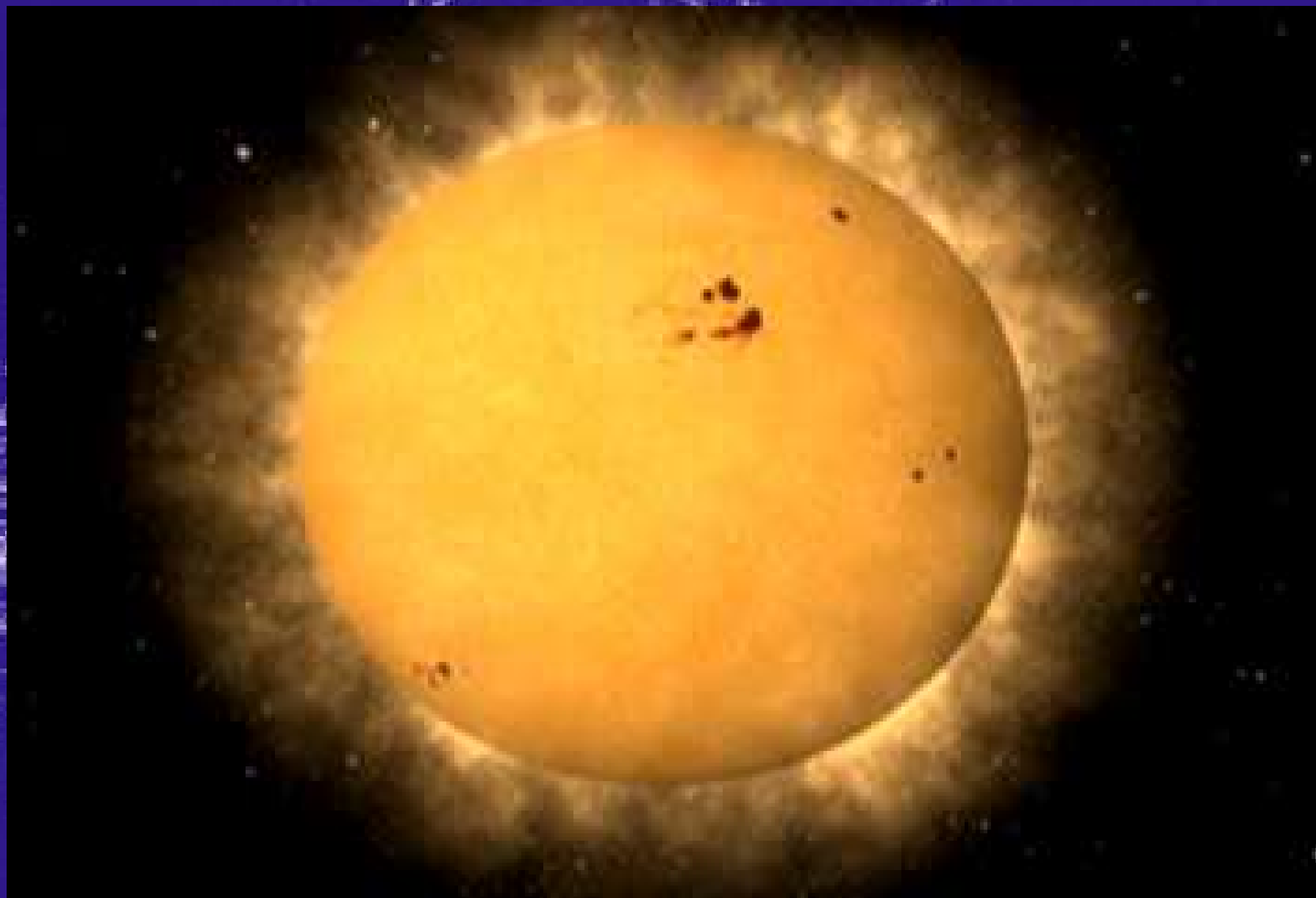






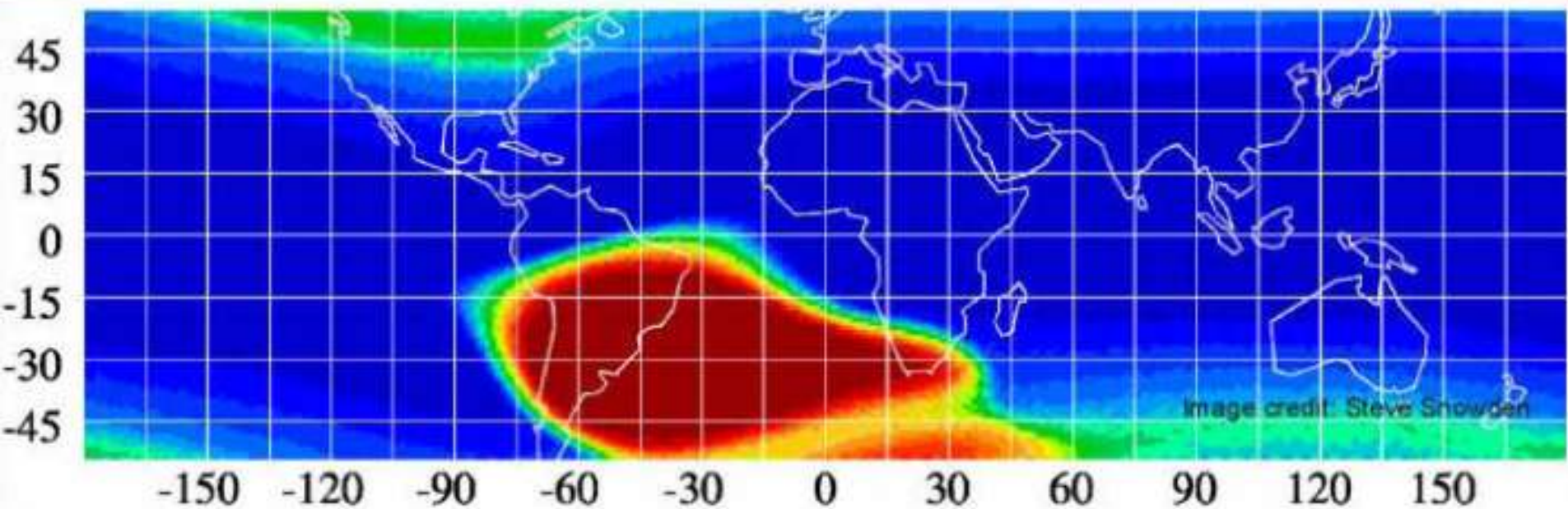
- Υπάρχει μέγιστο στην ηλιακή δραστηριότητα κάθε 10-11 χρόνια: 11ετής Ηλιακός Κύκλος
- Η ροή της ΚΑ μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του κύκλου. Ελευθερώνονται φορτισμένα σωματίδια με πολύ μεγάλες ταχύτητες
- Το υλικό που εκπέμπεται από τον ήλιο είναι σε μορφή πλάσματος (p , e^- και μαγνητικές γραμμές) και μεταφέρει μακριά μαγνητικές γραμμές που λειτουργούν σαν ασπίδα προστασίας από ΚΑ που μπαίνει στο ηλιακό σύστημα από έξω.



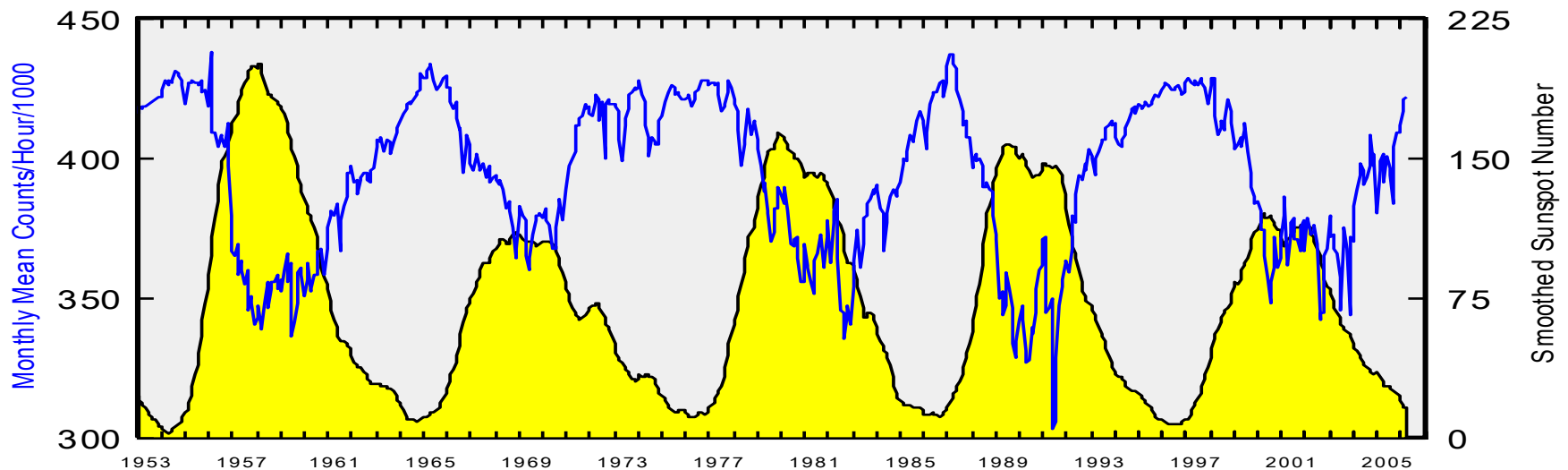


Ανωμαλία του Νότιου Ατλαντικού- Κ.Α

- Περιοχή όπου το μαγνητικό πεδίο μειώνεται επιτρέπει τις Κ.Α να φτάσουν σε χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας

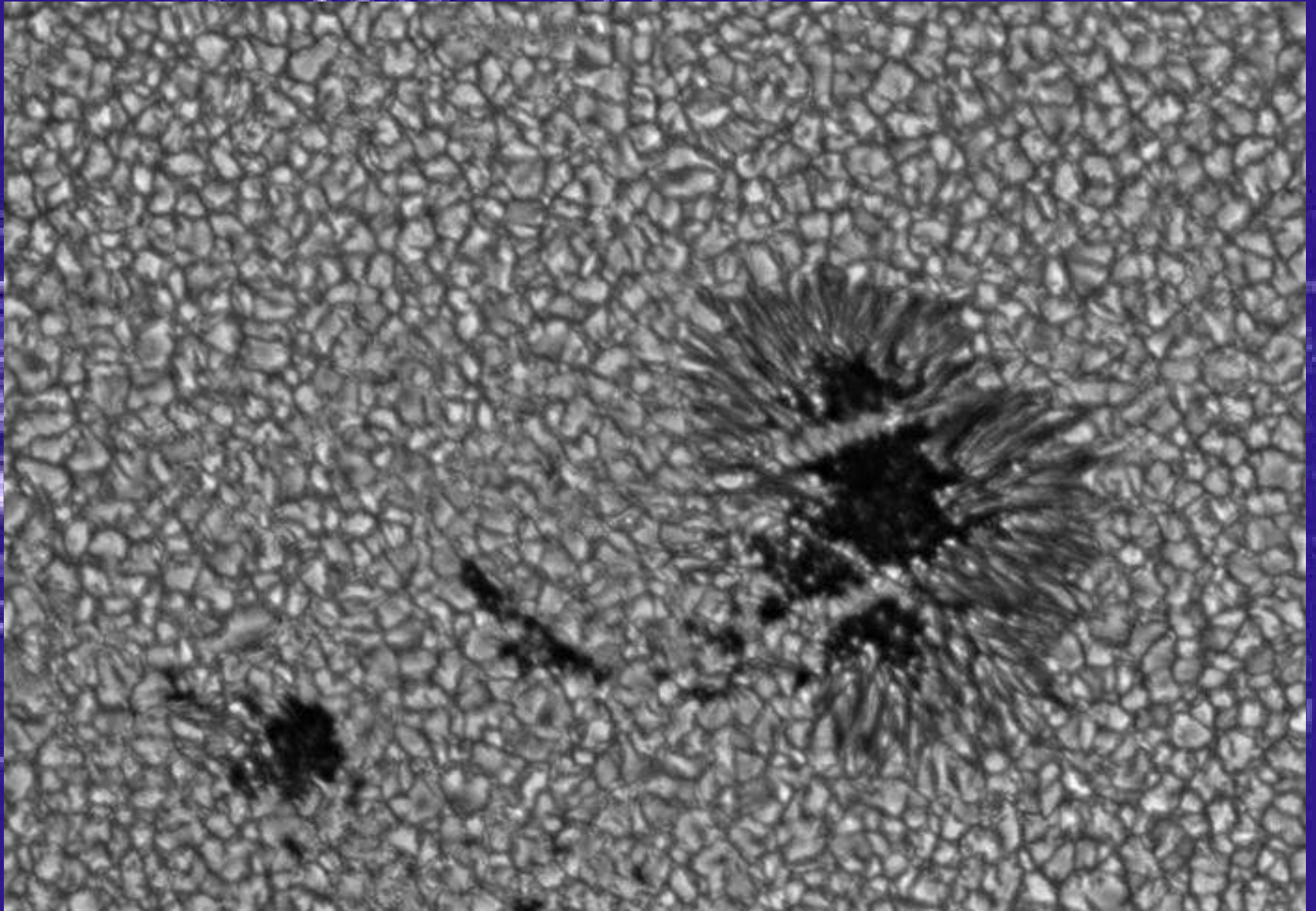


Cosmic Ray Counts and Smoothed Sunspot Numbers



Από μετρήσεις της ΚΑ σε μεγάλο χρονικό διάστημα φαίνεται ότι η ΚΑ έχει αντίθετη συμπεριφορά από αυτή του ηλιακού κύκλου

Ηλιακές Κηλίδες





Εξωγαλαξιακές πηγές

Το σωματίδιο “Ω Θεέ μου”!

- Το 1991 το πείραμα «Μάτι της μύγας (Fly's Eye)» στη Utah ανίχνευσε πρωτογενές σωματίδιο $E=3 \times 10^{20}$ eV (ισοδυναμεί με 51 joules)
- 1 τρισεκατομμ. $\times$ ενεργητικότερο από ηλ. ΚΑ
- Σήμερα οι ανιχνευτές σωματιδίων καταγράφουν ενέργειες 10^{12} eV.
- Η ΚΑ είναι $10 \cdot 10^6 \times$ πιο γρήγορη !!!



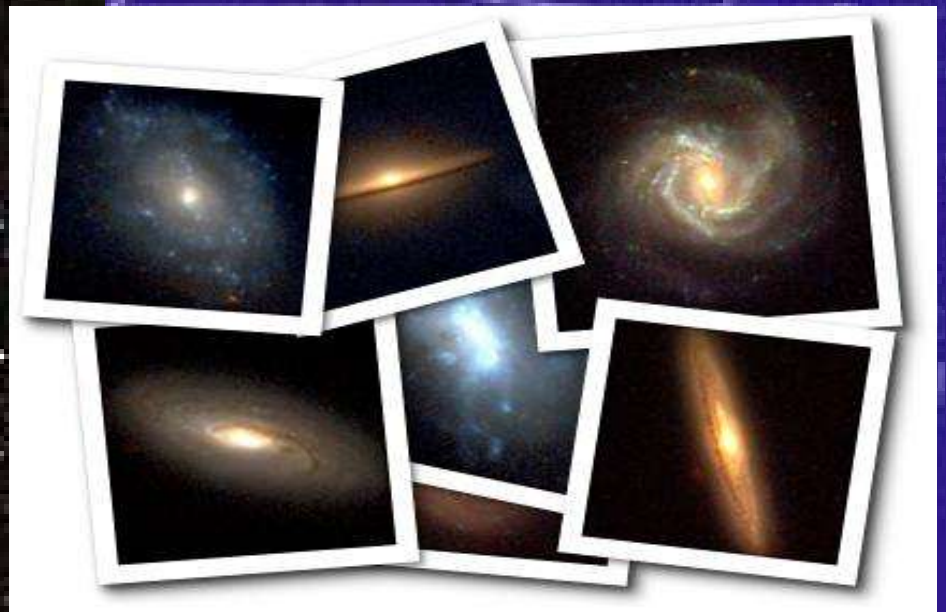
Από πού προέρχεται αυτή η ΚΑ

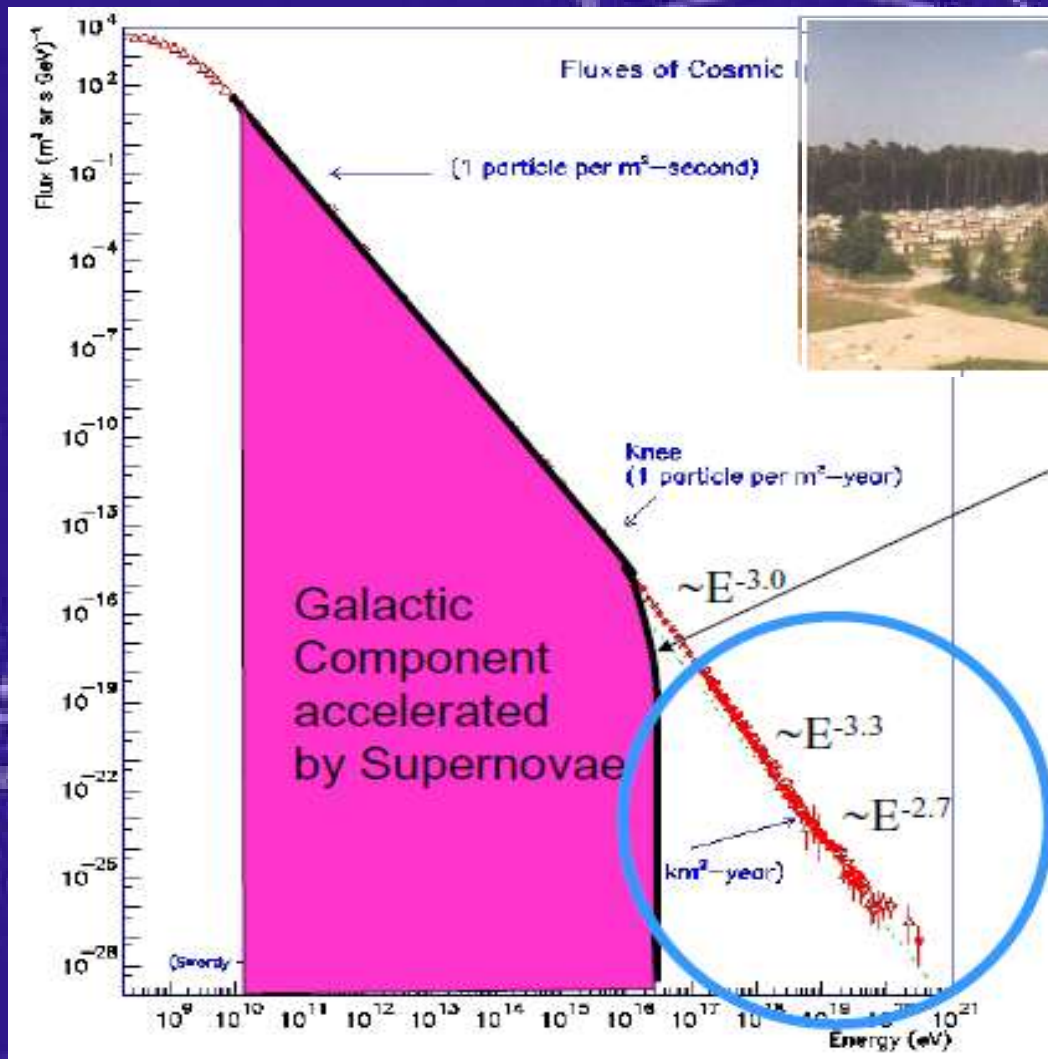
UHECRs είναι τα σωματίδια ψηλότερης ενέργειας που έχουν παρατηρηθεί στο σύμπαν!!

$$E > 10^{20} \text{ eV.}$$

Εξωγαλαξιακή

Τα σωματίδια της ΚΑ έρχονται από μακριά, από περιβάλλοντα γαλαξιών περνώντας μέσα από το Γαλαξία





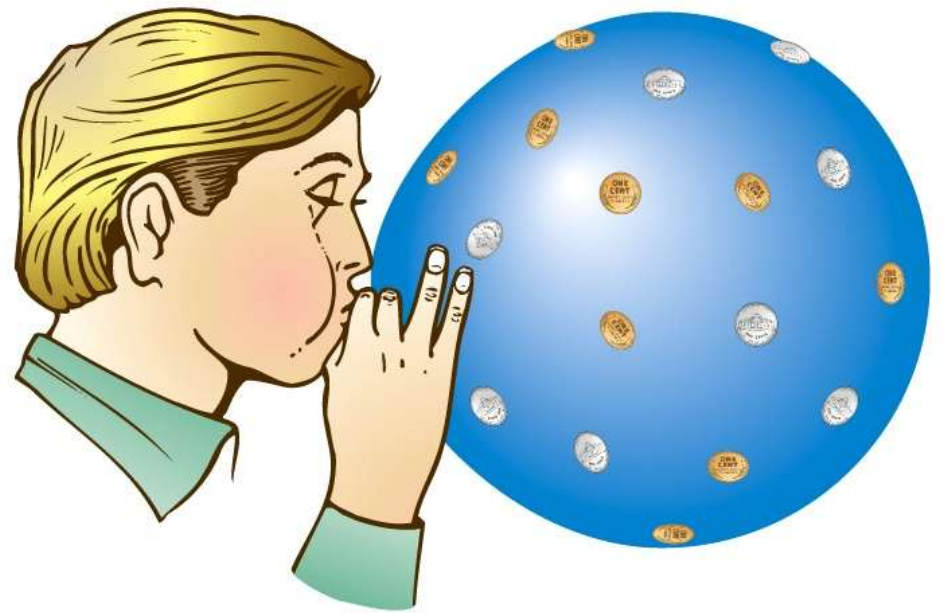
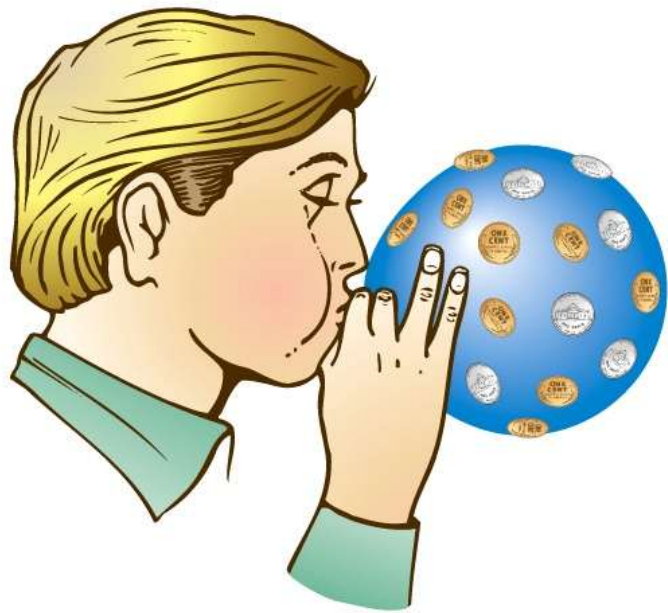
ΚΑ πάρα
πολύ ψηλής
ενέργειας
UHECR

Καλά νέα: Αρκετά ψηλή ενέργεια ώστε να έχουμε
πληροφορίες διεύθυνσης

Το Μυστήριο των Ultra-High Energy Cosmic Rays (~ 1 EeV)

Τι είναι?: Φαίνεται σα να υπάρχει μετακίνηση από τη σύνθεση των βαριών σωματιδίων της ΚΑ σε ελαφριά “αστράγαλος = ankle”.

- Από πού έρχονται?: Δε φαίνεται να έρχονται από κάπου ιδιαίτερα: Δεν έχουν παρατηρηθεί σημειακές πηγές ή σημαντική ανομοιογένεια.
- Πώς παράγονται/επιταχύνονται?
Μια πιθανή εξήγηση: διάσπαση αρχικών σωματιδίων που δημιουργήθηκαν από το big bang.



**To Big Bang (Μεγάλη έκρηξη, Gamow ~ 1946)
και αρχή του Σύμπαντος**

The Big Bang



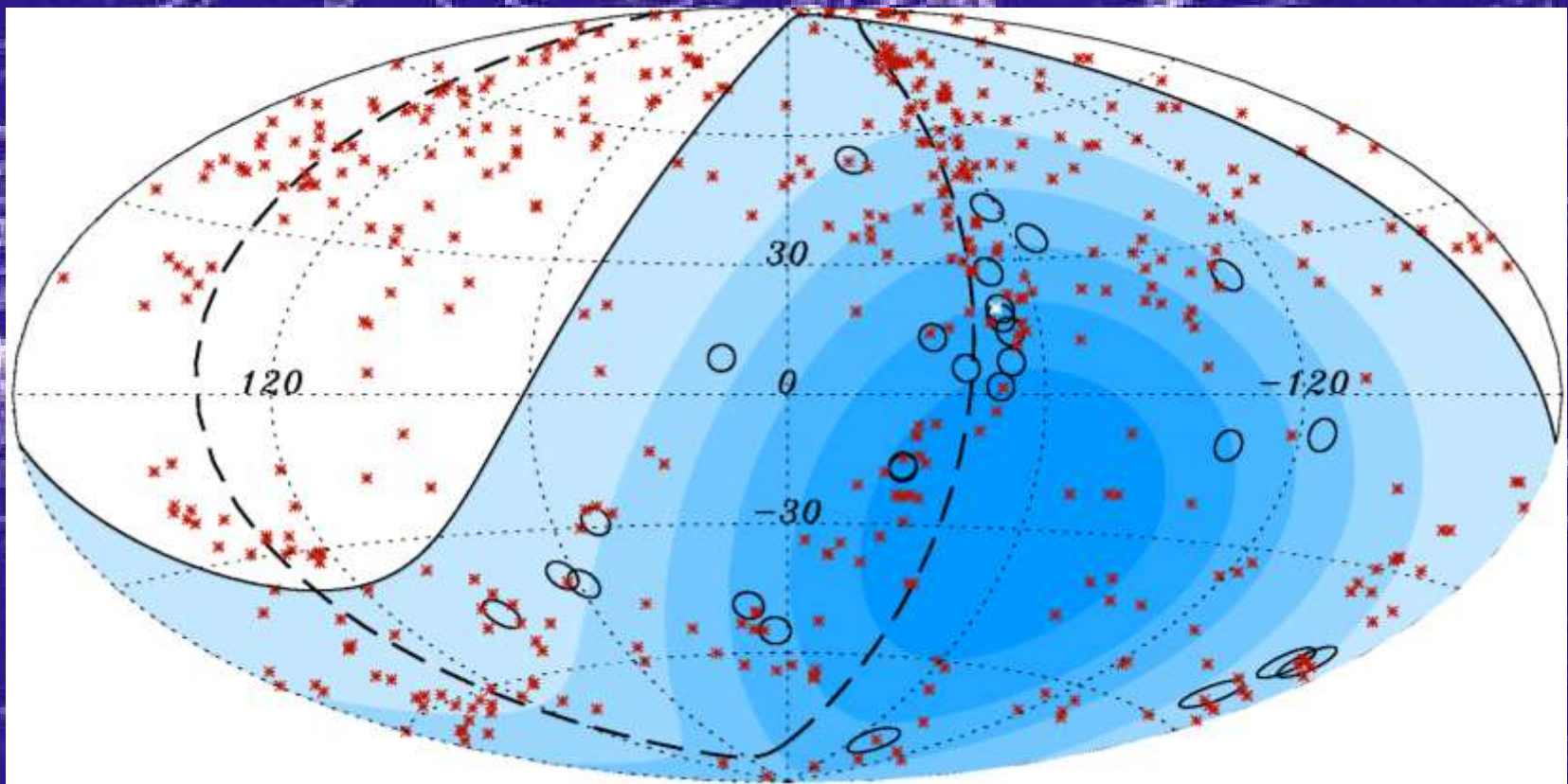
Η Ιστορία των πάντων!

UHECR

- Η παρουσία τους, ακόμα αίνιγμα:
 - Ποιος ο μηχανισμός που επιταχύνει τα σωματίδια σε τέτοιες ενέργειες??
 - Πηγές? Από πού προέρχονται?
 - Σύσταση?
- Ομοιομορφία στην ανίχνευσή του (ισότροπη):
Τα UHECR έρχονται από πολύ μακριά.
 - Δε θα μπορούσαν όμως γιατί τα σωματίδια θα συγκρούονταν με τη μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου $\Rightarrow$ θα σταματούσαν ή θα επιβραδύνονταν (Βάσει της ανιχνεύσιμης $E_{\max}$ τα περισσότερα πρέπει να έρχονται από απόσταση $6.2 \cdot 10^{20}$ km !!)

Auger Highest-energy Χάρτης Ουρανού

Τι σημαίνει?



Η ΚΑ ψηλότερης ενέργειας είναι ανισότροπη!

ion

Πιθανές πηγές των UHECR

- Επιτάχυνση από shock σε αντικείμενα μεγάλης έκτασης: AGN, shocks σε συγκεντρώσεις σμηνών γαλαξιών (επιταχύνονται πυρήνες)
 - Λοβοί ραδιο-γαλαξιών
 - Shocks σε σμήνη γαλαξιών
 - Συγκρούσεις μεταξύ γαλαξιών
 - Κίνηση γαλαξιών στο ενδοαστρικό μέσο
- Επιτάχυνση σε ισχυρά πεδία που σχετίζονται με δίσκους προσαύξησης και μικρούς αλλά γρήγορα περιστρεφόμενους γαλαξίες
- Γαλαξίες Starburst

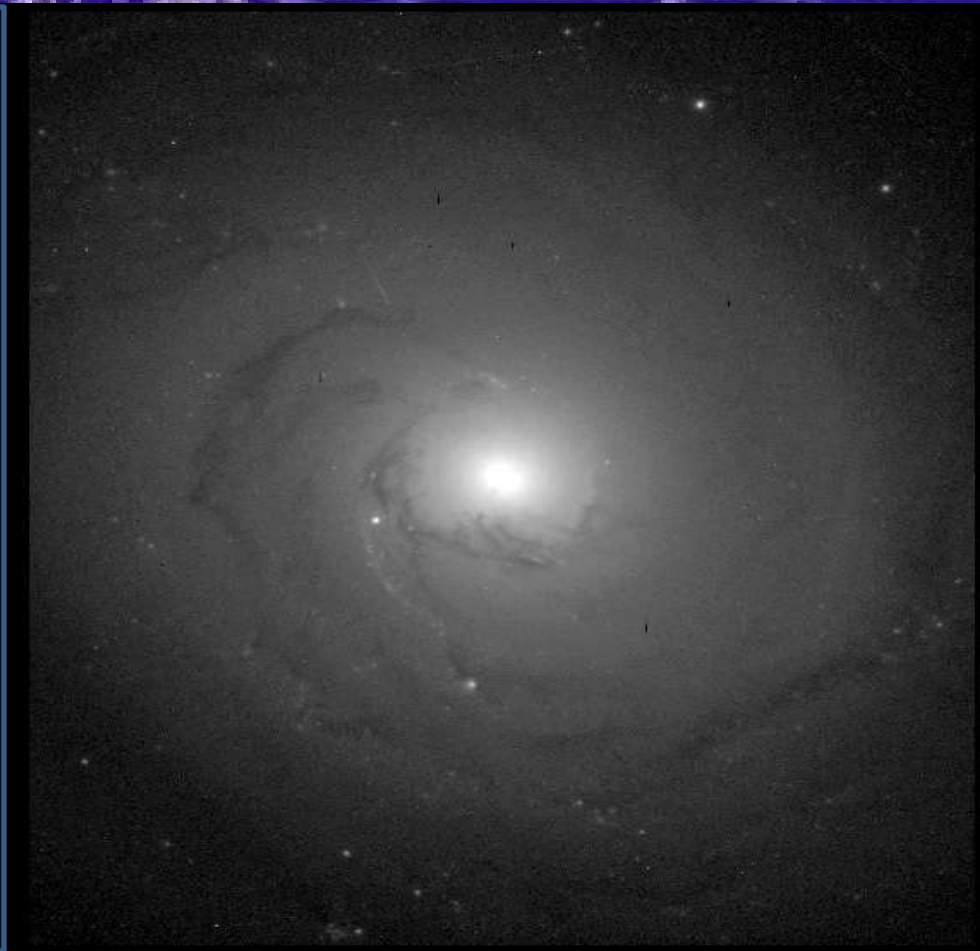
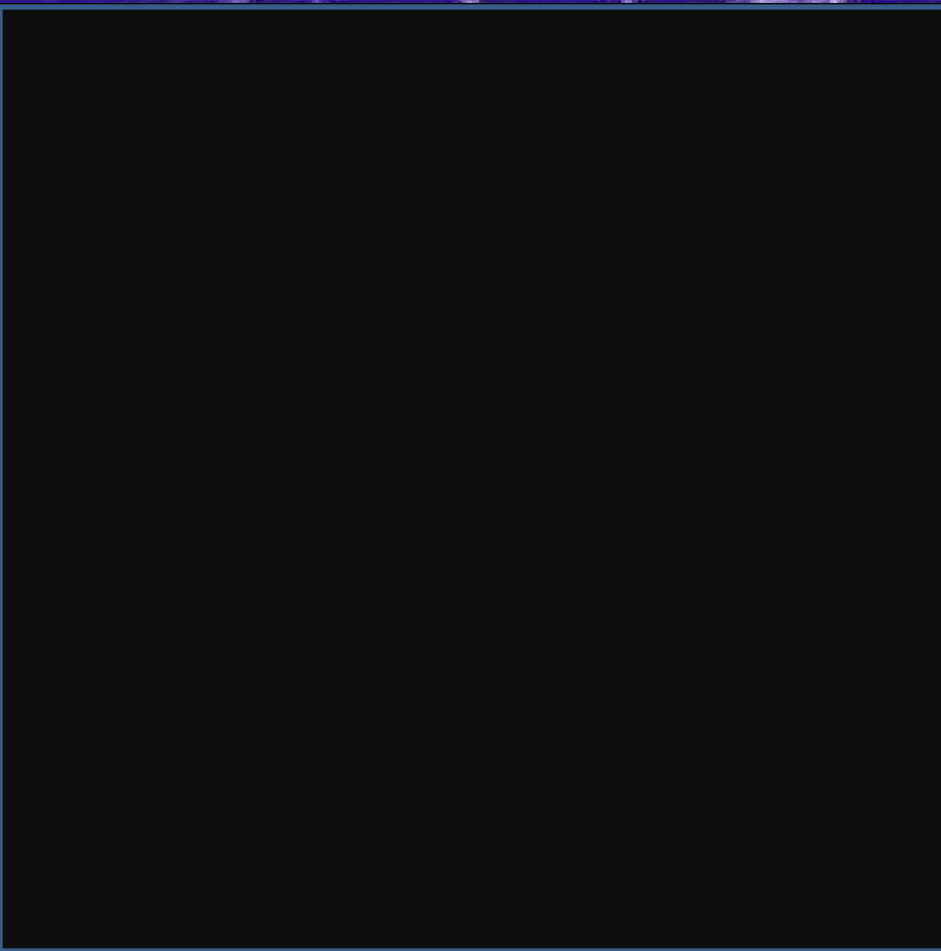
The background of the slide is a detailed map of the Cosmic Microwave Background (CMB) temperature fluctuations. It features a complex pattern of concentric circles and intersecting lines, representing the distribution of matter and energy in the early universe. The colors range from dark blue to light blue, indicating different temperature variations. The text "CMB ≠ CR" is overlaid in the center.

CMB $\neq$ CR

Cosmic Background Radiation (CMB)=Κοσμική Μικροκυματική ακτινοβολία

- Παρατηρήσιμη Απόδειξη για Big Bang!
- Είναι το απομεινάρι της ακτινοβολίας του Big Bang
- Άρα η κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία CMBR θα πρέπει να έχει απλωθεί στο Σύμπαν και να είναι πολύ κρύα

AGN

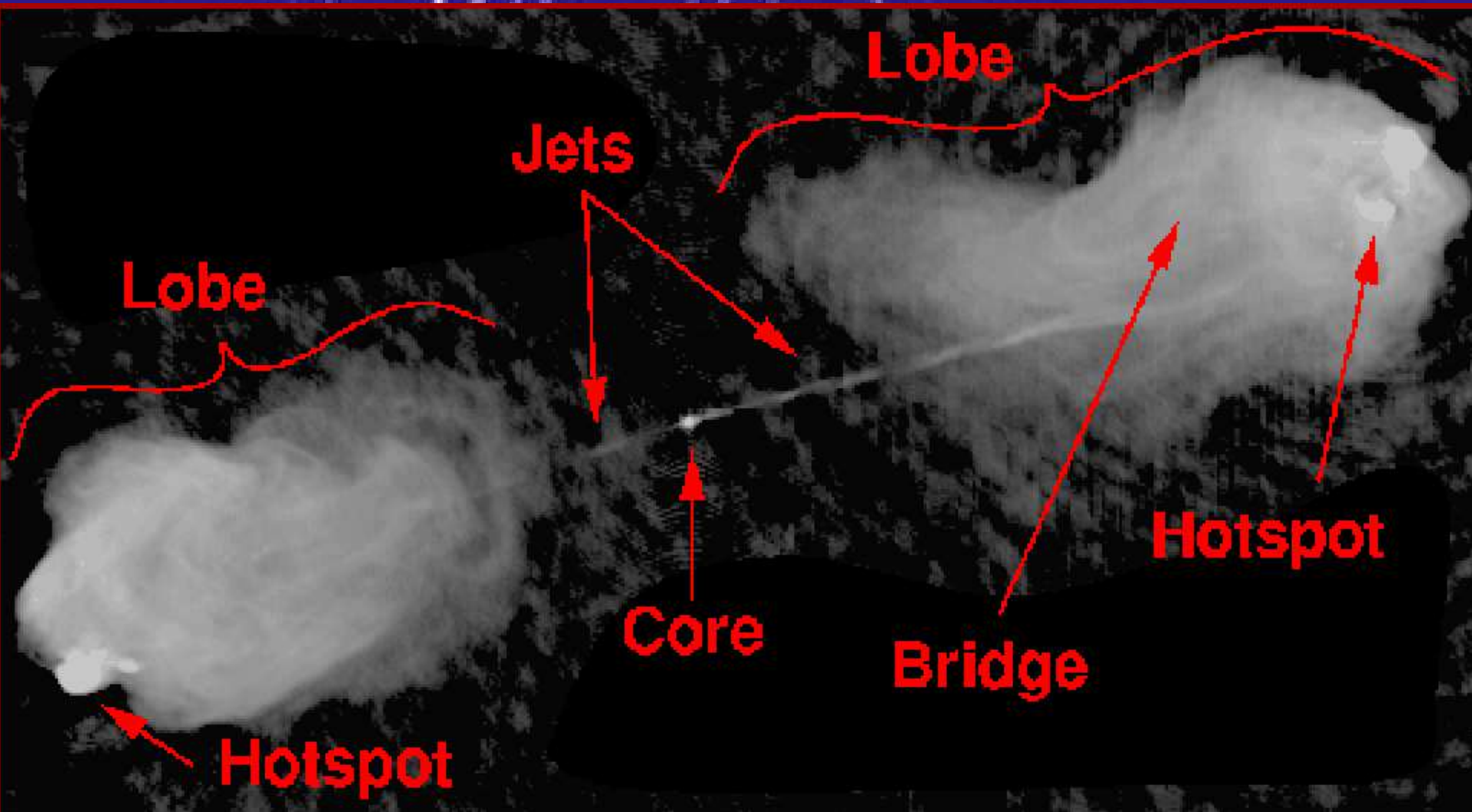


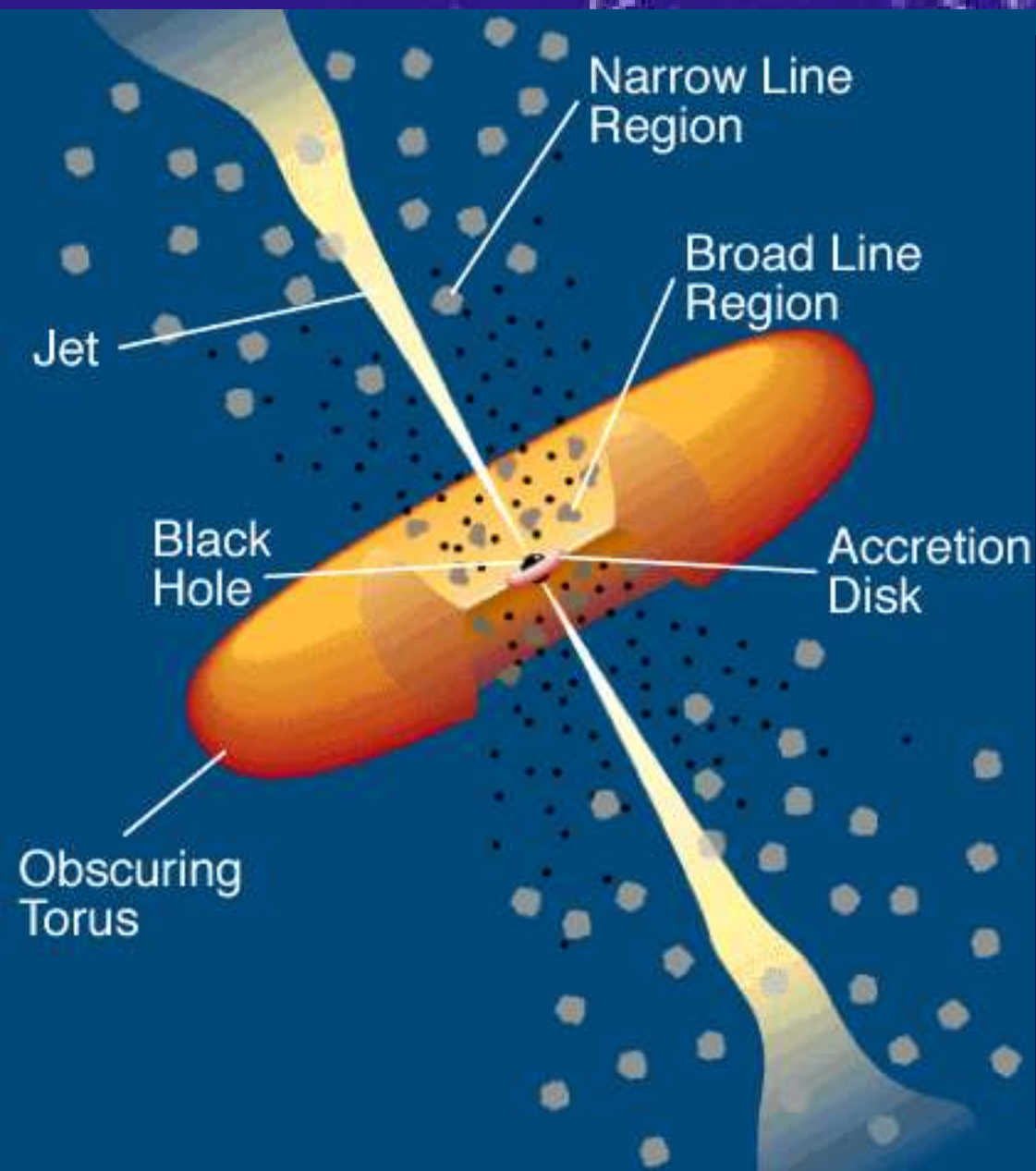


LOVEL Radio telescope – Jodrell Bank, UK



Ορολογία AGN





AGNs

Μπορούν να επιταχύνουν φορτισμένα σωματίδια

Διάδοση σωματιδίων

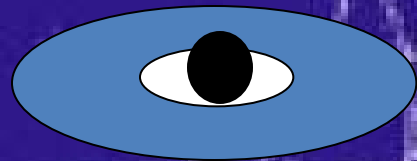
Τα πιο βαριά διασπώνται

Διαφορετικοί Τύποι (στα
ραδιοκύματα) $\Rightarrow$
Διαφορετική Επιτάχυνση

RG μεγαλύτερης ισχύος >
RG χαμηλότερης ισχύος >
ραδιο-ήσυχο

Active Galactic Nuclei (AGNs)

supermassive black hole
+accretion disk (flow)



radio-loud
(relativistic jet)

radio-
quiet
(no jet)

~90%

Seyfert galaxy

radio-quiet quasar

high-
power

~<1%

FR II
radio
galaxy

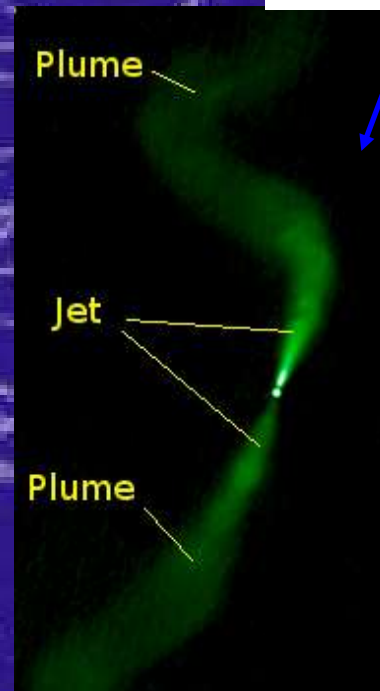
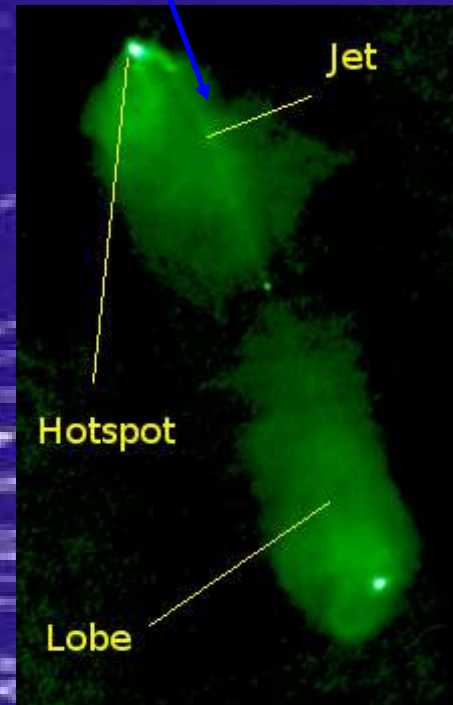
low-
power

~9%

TeV blazar
(BL Lac)

FR I
radio
galaxy

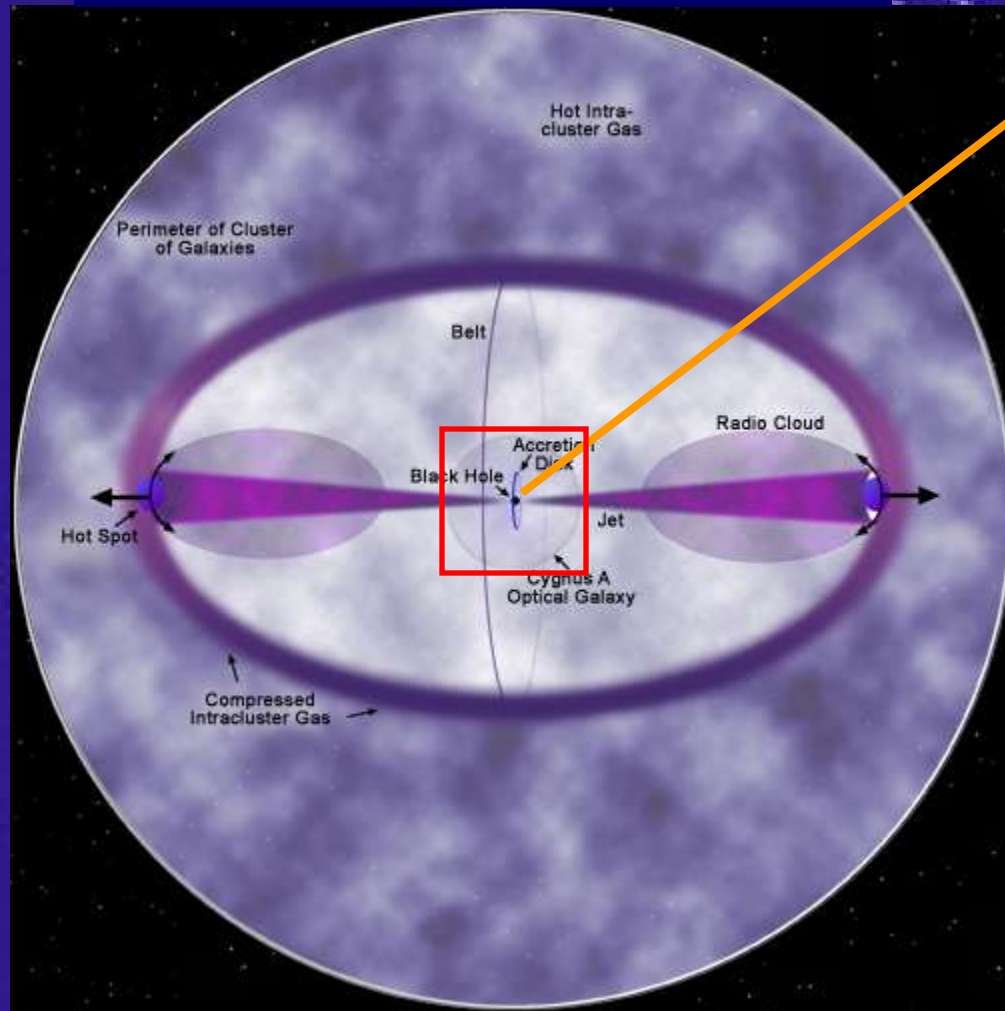
GeV blazar



activity timescales
~ 10^7 - 10^8 yr
~<UHECR delay time

AGNs: περιοχές επιτάχυνσης

Seyfert ή radio-quiet quasar



Κοντά στον πυρήνα?

$R \sim 10^{13}-10^{14}$ cm $B \sim 10^4$ G?

$E_{\text{max}} \sim E_{\text{pg}} \sim < 10^{18}$ eV

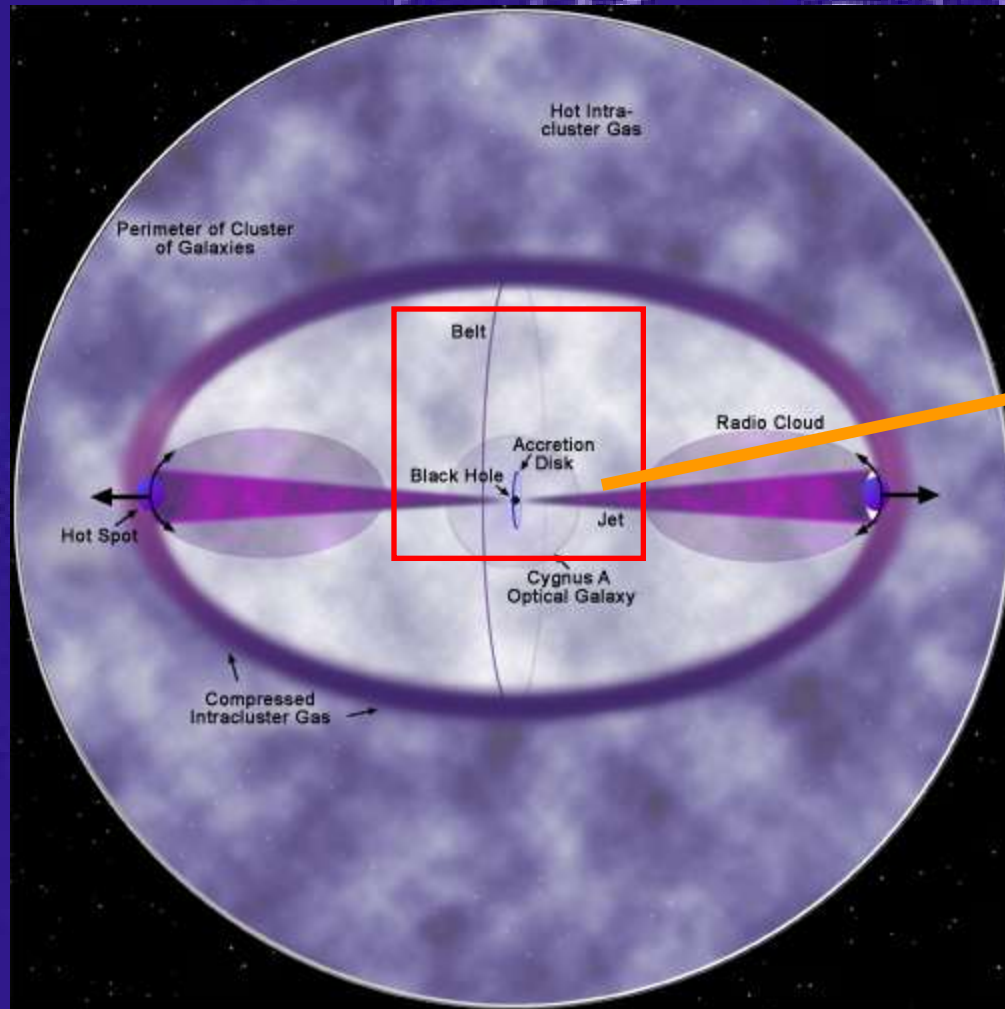
Δεν υπάρχει συμφωνία
με παρατηρήσεις keV-MeV

UHECR δεν αναμένεται
επιτάχυνση

Από την ιστοσελίδα του Chandra

AGNs: περιοχές επιτάχυνσης

Χαμηλής ισχύος (FR I) RG



εσωτερικό jet (blazar)

$R \sim 10^{16} - 10^{17} \text{ cm}$ $B \sim 0.1 - 1 \text{ G}$

$E_{\text{max}} \sim E_{\text{pg}} \sim < 10^{20} \text{ eV}$

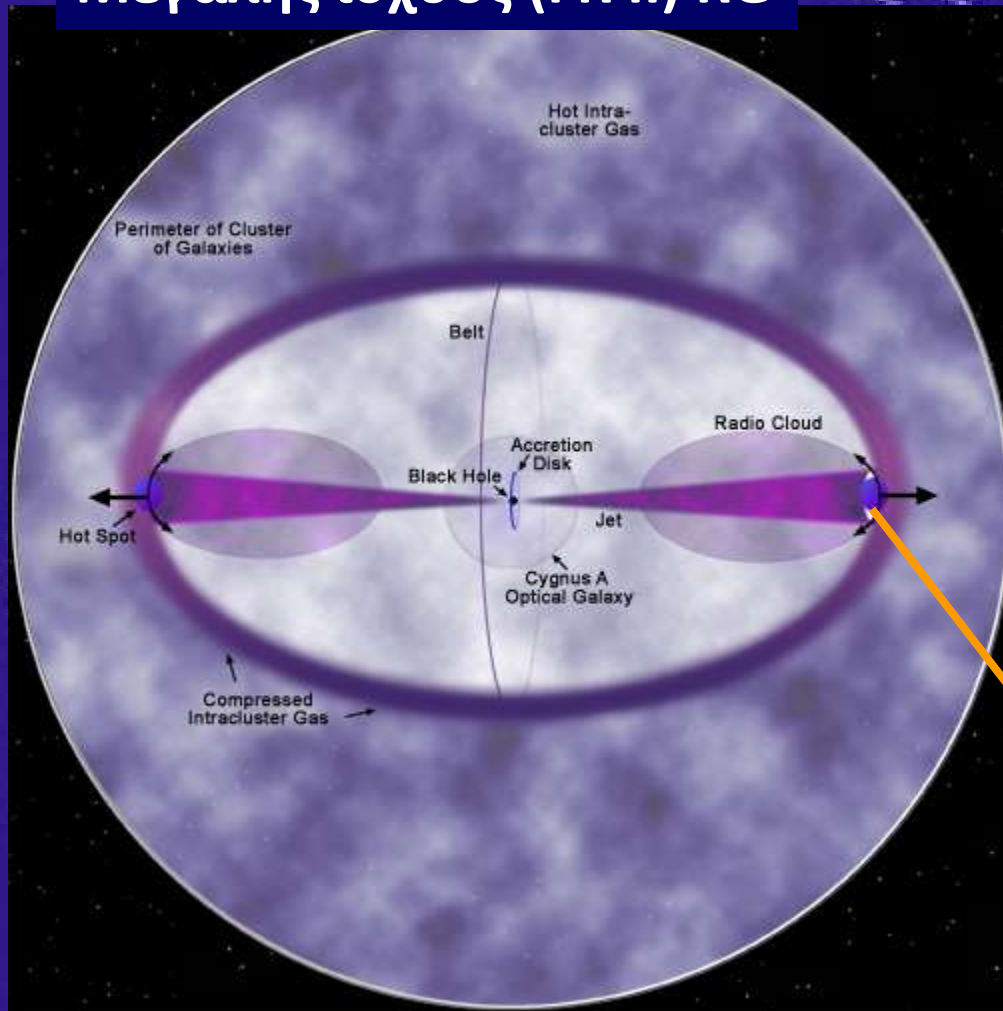
Αδιαβατική απώλεια
ενέργειας

Μπορεί να συμβεί
επιτάχυνση (shear-layer)

Δύσκολη
επιτάχυνση/διαφυγή

AGNs: περιοχές επιτάχυνσης

Μεγάλης ισχύος (FR II) RG



hot spot

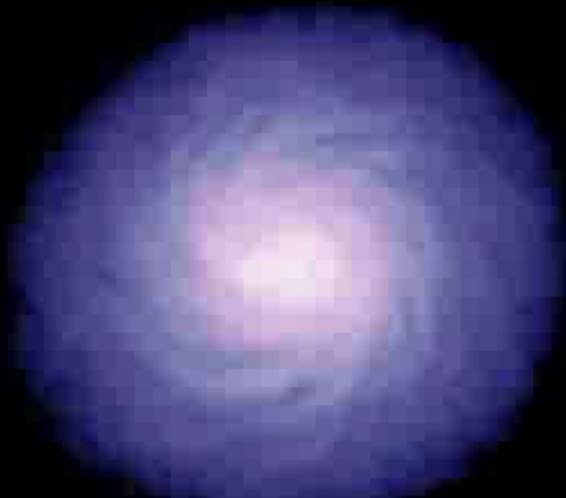
$R \sim 10^{21} \text{ cm}$ $B \sim 1 \text{ mG}$

$E_{\text{max}} \sim E_{\text{esc}} \sim 10^{20-21} \text{ eV}$

Πιο αποτελεσματική περιοχή
Ευκολότερη επιτάχυνση/
Διαφυγή

Συγκρούσεις Γαλαξιών

T = 160 Myr



NGC 3605 and the Hubble Heritage Team (STScI) - Hubble Space Telescope via NASA - ESA and ESA-ESO-EU

Εξωτικοί Μηχανισμοί

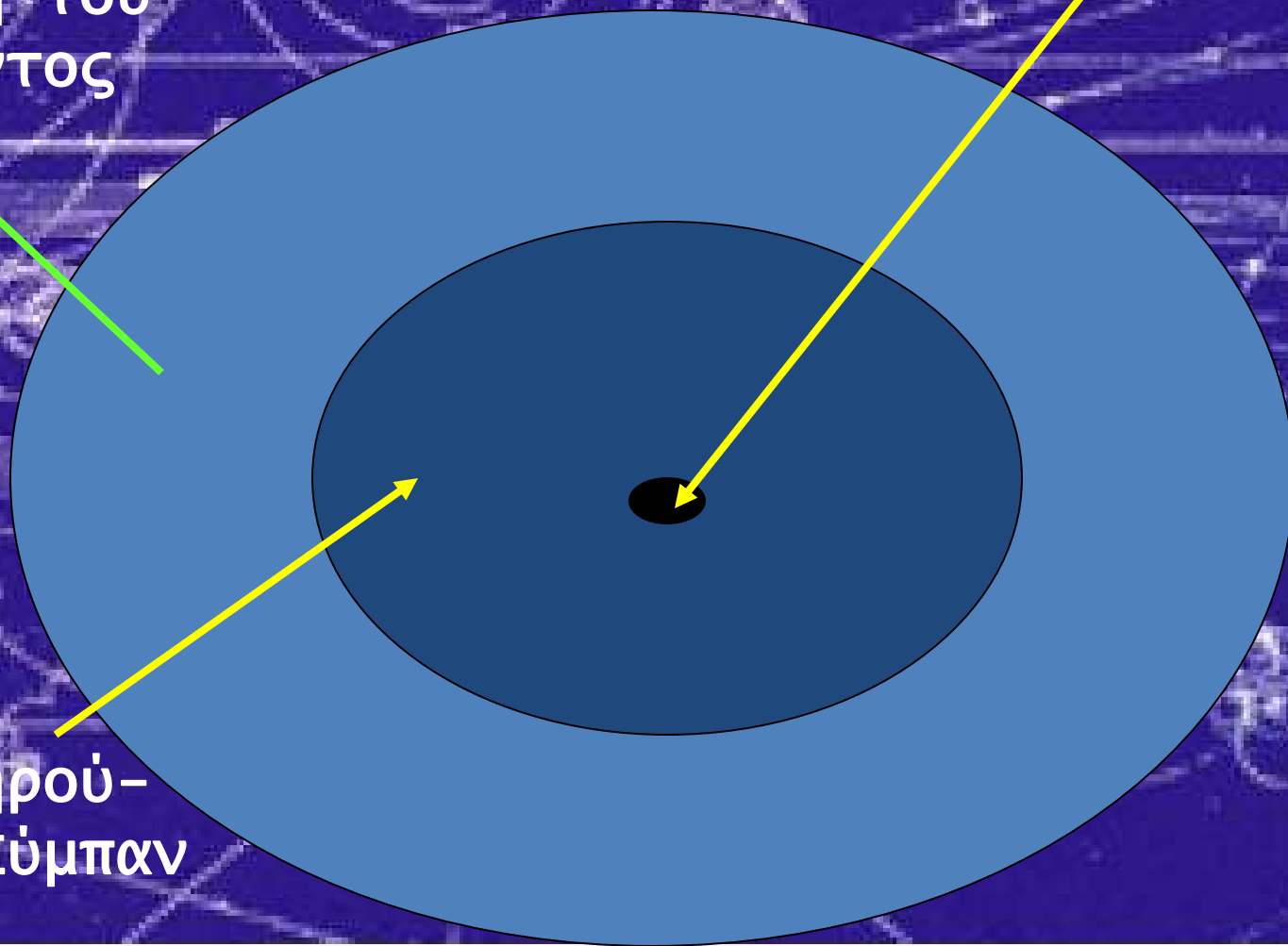
- Αστέρια από quark
- Εξαύλωση σκοτεινής ύλης
- Γαλαξίες από αντιύλη
- Μικροκβάζαρ
- Εξάρσεις ακτίνων γ (GRBs) - GeV-TeV γ -rays
- Προϊστορικές μαύρες τρύπες
- Νέα Φυσική (π.χ. νέα, άγνωστα σωματίδια που δεν αλληλεπιδρούν με CMB)?

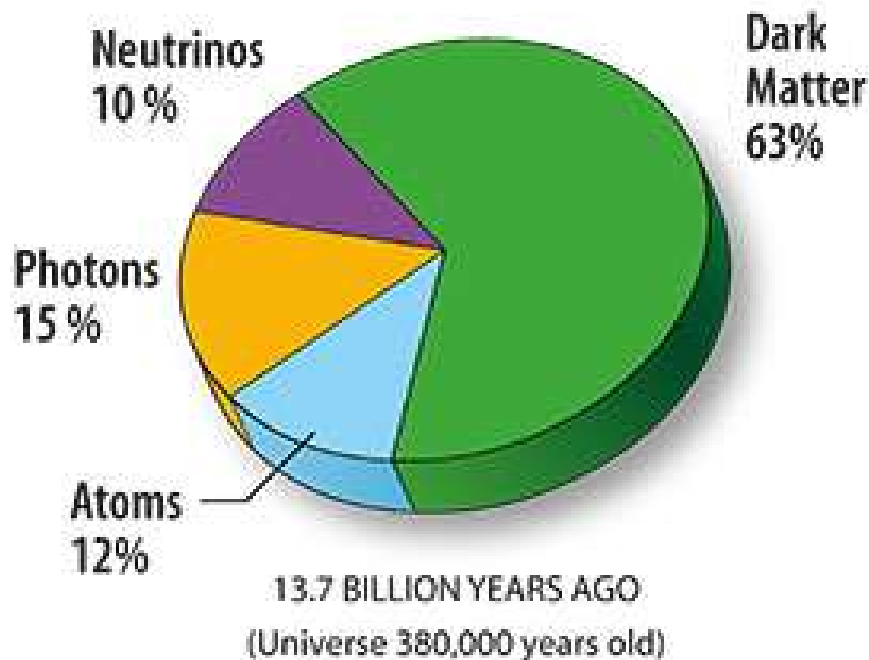
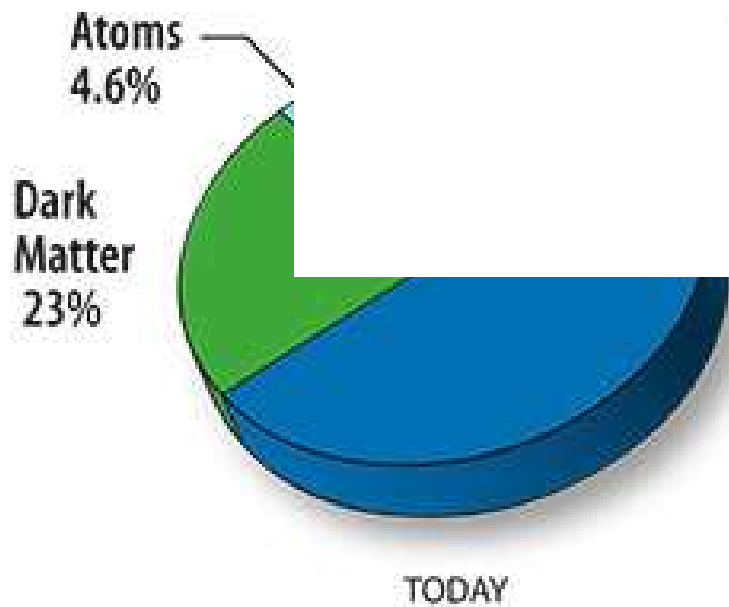
Το φως που βλέπουμε

Πραγματική
έκταση του
Σύμπαντος

milky way

Παρατηρού-
μενο Σύμπαν





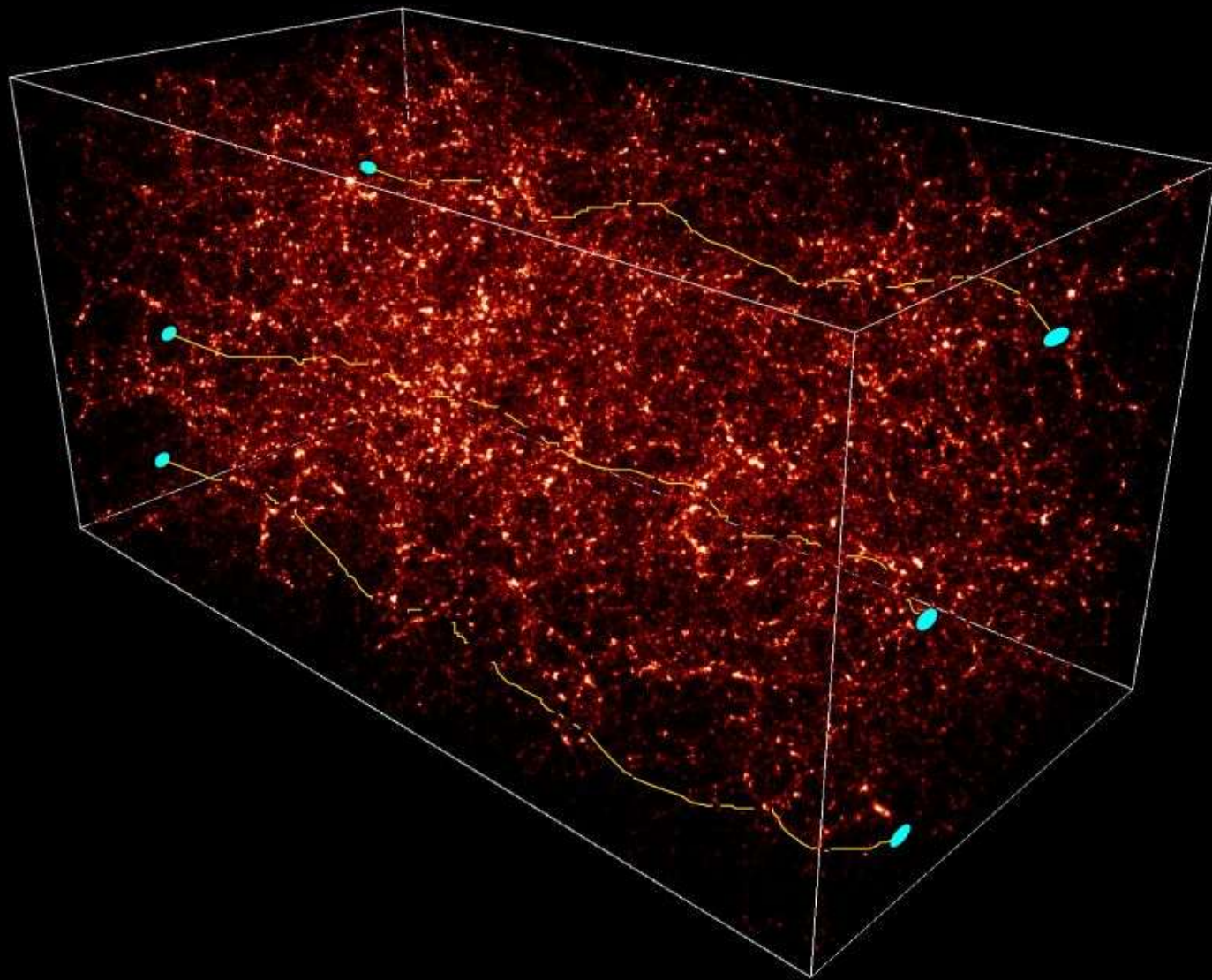
συστατικά του σύμπαντος :

4.6% άτομα, τα δομικά συστατικά των αστεριών, πλανητών.

23% Η σκοτεινή ύλη

72% Η σκοτεινή ενέργεια αποτελεί το που συμπεριφέρεται σαν αντι-βαρύτητα. Είναι υπεύθυνη για την παρούσα επιτάχυνση της διαστολής του σύμπαντος. Είναι κάτι ξεχωριστό από τη σκοτεινή ύλη.

DEFLECTION OF LIGHT RAYS CROSSING THE UNIVERSE, EMITTED BY DISTANT GALAXIES



SIMULATION: COURTESY NIC GROUP, S. COLOMBI, IAP.

ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΎΛΗ

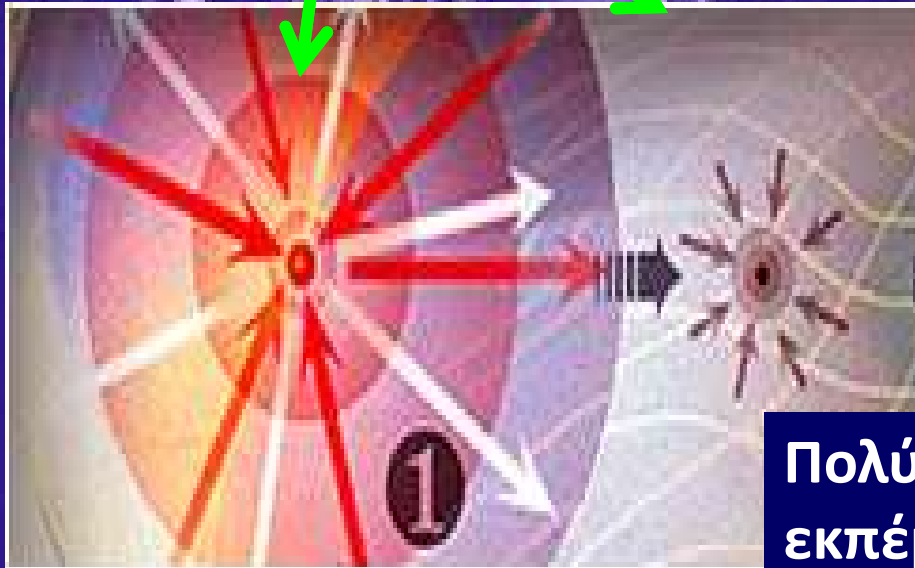
- Υπερ-συμμετρία (supersymmetry)
- Neutralinos: σωματίδια πολύ μεγάλης μάζας, ευσταθή, χωρίς φορτίο, δεν απορροφούν/ εκπέμπουν φως, δε φτιάχνουν αστέρια...
- Κάποια στιγμή, δύο θα συγκρουστούν μεταξύ τους και θα προκύψουν σωματίδια. Μέσα σ' αυτά e^+ ποζιτρόνια πολύ πολύ μεγάλης ενέργειας (θα πρέπει να αποτελούν μέρος του φάσματος της ΚΑ)
- Εξαύλωση Σκοτεινής Ύλης: δεν παράγεται απευθείας ζεύγος e^-/e^+

Προϊστορική Μαύρη Τρύπα

BB

Μεταβολές πυκνότητας

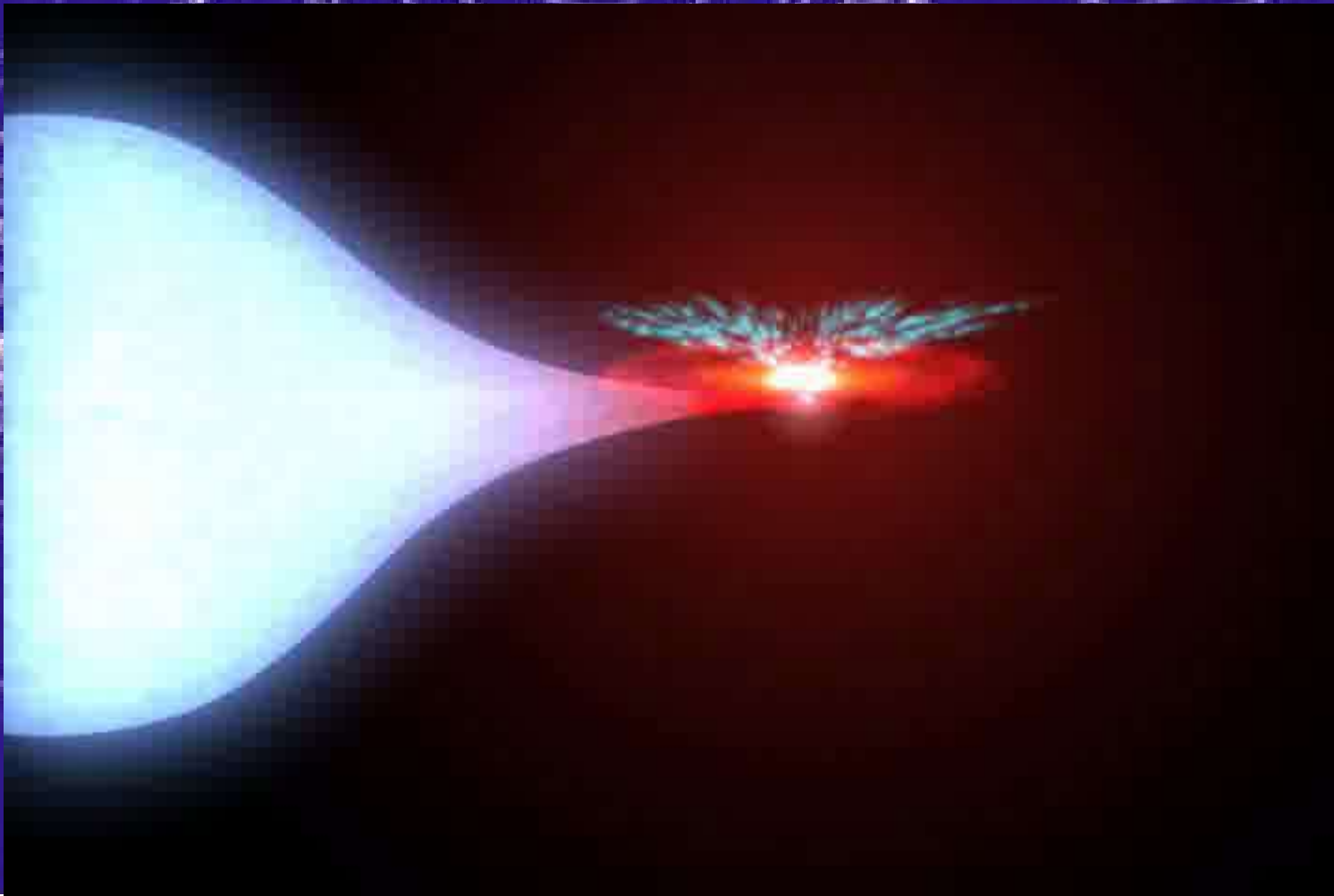
Μάζα $\cong$ μερικές $\times M$ βουνού Everest

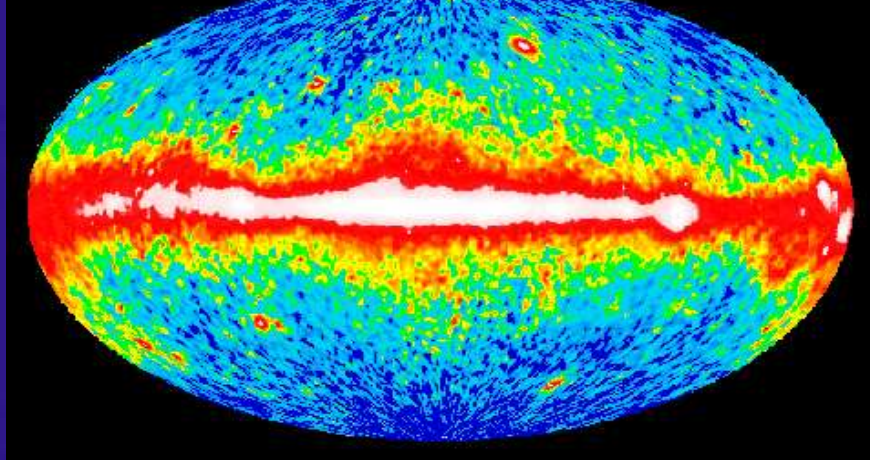


Πολύ μεγάλο βαρυτικό πεδίο $\rightarrow$
εκπέμπει στοιχειώδη σωμάτια (αντι-
πρωτόνια, αντι-δευτερόνια) $\rightarrow$ KA

Microquasars

Σύστημα από κανονικό αστέρι και Αστέρι νετρονίων
Σχετικιστικοί πίδακες στέλνουν δέσμες ενεργητικών
ηλεκτρονίων της ίδιας ενέργειας προς το ενδοαστρικό μέσο





Ακτίνες-γ, CGRO, $E > 100 \text{ MeV}$

GRB

ΥΗΕ ακτίνες γ

Όταν πέσουν πάνω σε ανιχνευτή,
«φτιάχνουν» μάζα: e^- και e^+

εσωτερικά + εξωτερικά (μπρος + πίσω) shocks



Προσαρμοσμένο από Meszaros 01

Περιοχή επιτάχυνσης
ΥΗΕCR

Εξωτερικό shock
κινούμενο
μπροστά

εσωτερικά shocks
Άμεσα εκπομπή Χ-γ

Εξωτερικό ανάποδο shock
οπτικά flash, radio έξαρση

Ακολουθεί radio-IR-
opt-X λάμψη

Ground based observations:

- Advantage: larger detectors, more particles → rarer cosmic rays
- Disadvantage: only indirect information about primary

An aerial photograph showing a large, circular, multi-colored area on the ground, representing a cosmic ray shower. The area is composed of concentric rings of different colors (blue, green, yellow, orange, red) radiating from a central point. The surrounding landscape is a mix of green fields and brownish terrain. The sky is dark blue with some wispy clouds.

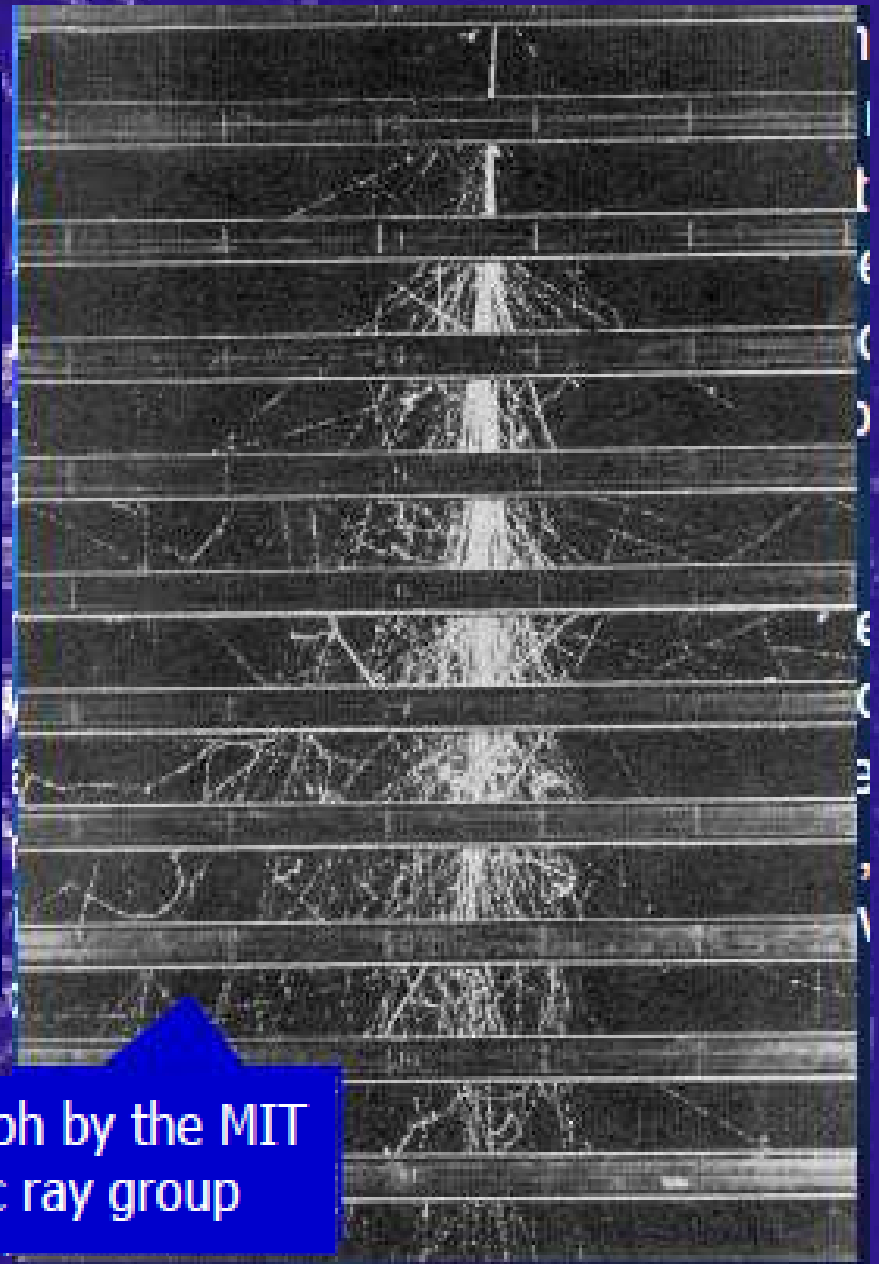
**Showers =
καταιγισμοί =
κατιονισμοί**

Particles detectable across ~6 km

Intensity drops by factor of 10 ~500m away from core

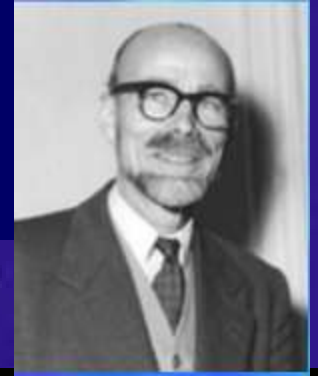
Άλλα πειράματα έδειξαν ότι
ΚΑ μεγάλης ενέργειας
μπορεί να παράγει
δευτερεύοντα (secondary)
ιονισμένα σωματίδια.

Το γεγονός είναι
χαρακτηριστικό της ΚΑ που
φτάνει στη γη, με τη μορφή
καταιγισμού (*showers*).

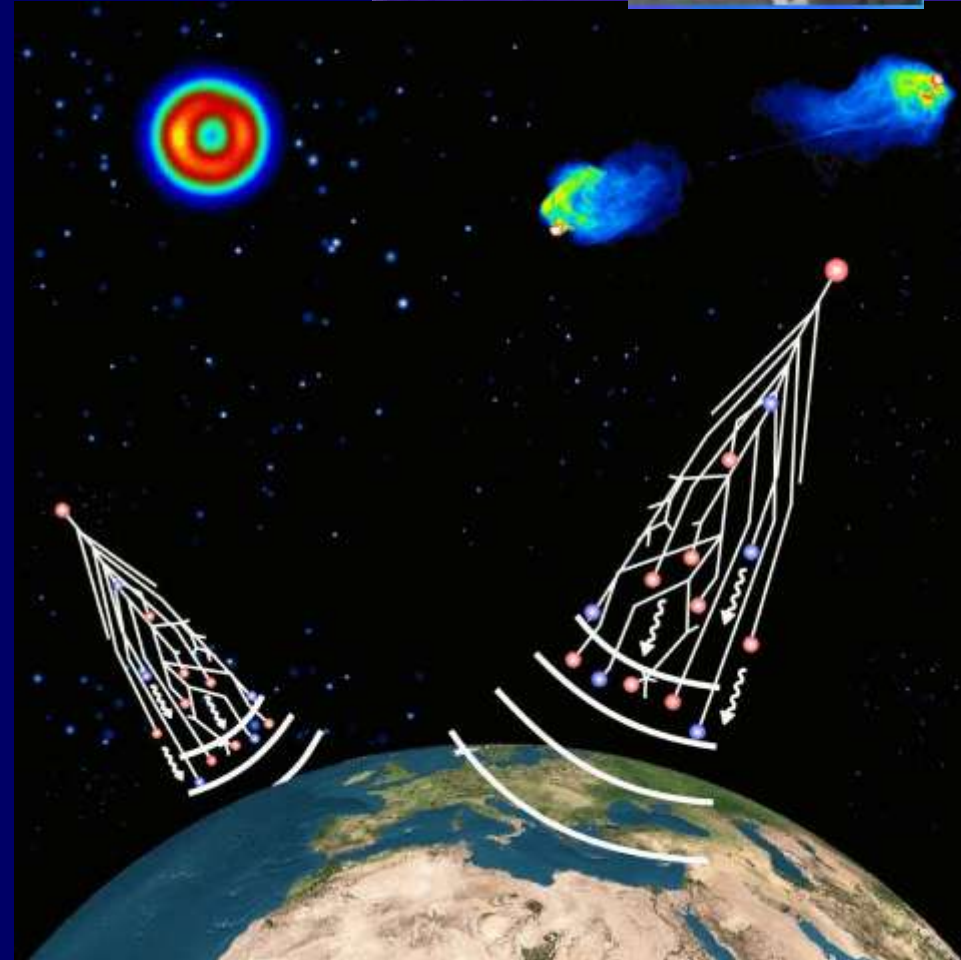


Photograph by the MIT
cosmic ray group

Εκτεταμένοι Καταιγισμοί = Extensive air showers (EAS)



Pierre Auger παρατήρησε ότι
δύο ανιχνευτές που
βρίσκονται κάποια μέτρα
μακριά ο ένας από τον άλλο
ανίχνευσαν σωματίδια τον
ίδιο χρόνο Ανακάλυψε ότι
EAS, δηλαδή καταιγισμοί
δευτερευόντων πυρήνων
παράγονται από τα
πρωτογενή σωματίδια όταν
αυτά αλληλεπιδρούν με
μόρια στην ατμόσφαιρα της γης (1938)



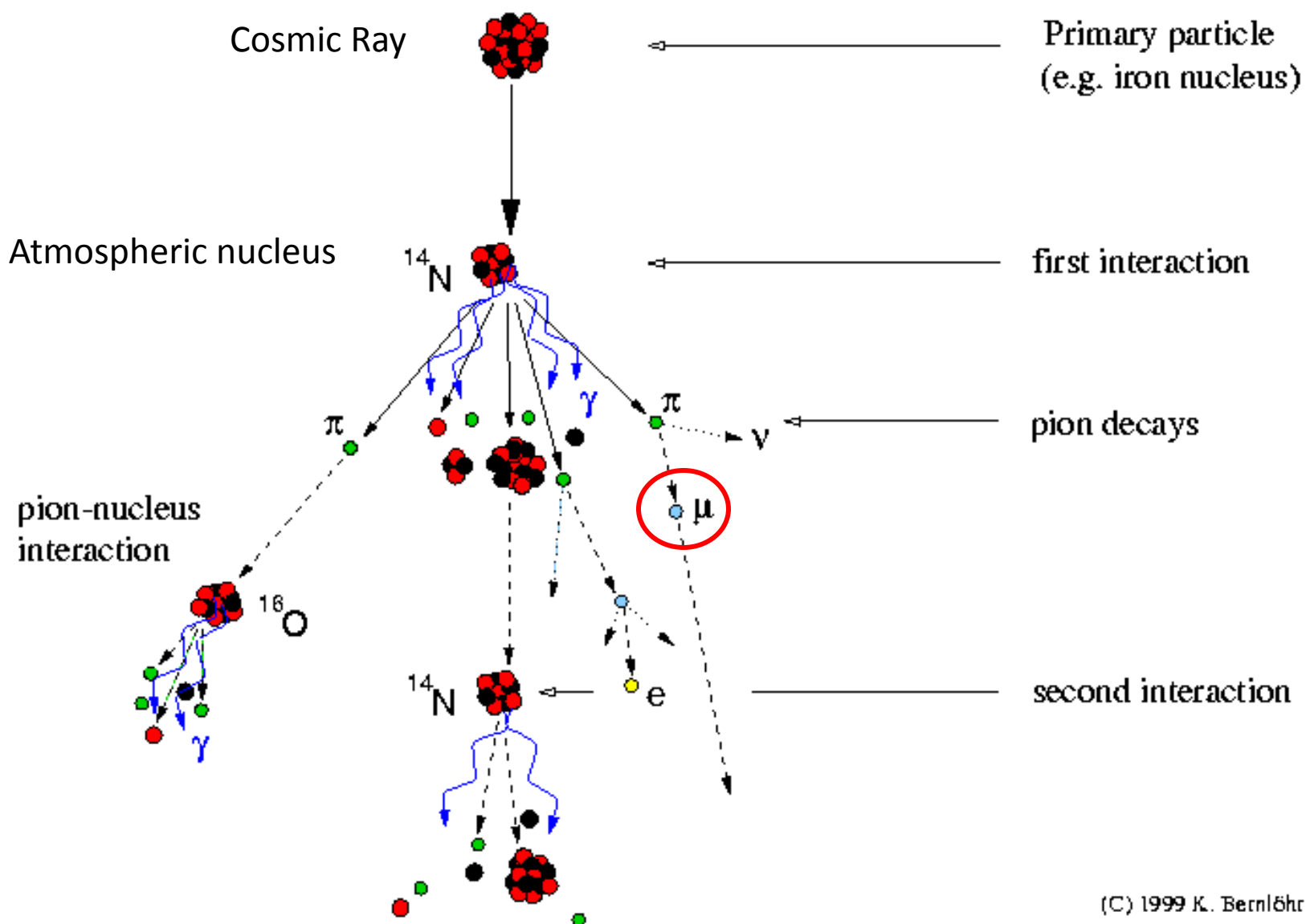
EAS

- Είναι τα secondary σωματίδια που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση των πρωτογενών (primary) που περισυλλέγονται από τους ανιχνευτές και τις ομάδες (arrays) ανιχνευτών



Τι συμβαίνει όταν η ΚΑ φτάσει στη γη?

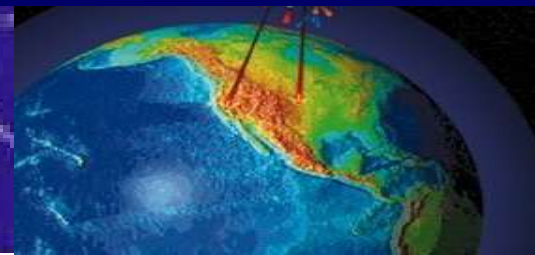
Development of cosmic-ray air showers



Εκτεταμένος καταιγισμός

- ΚΑ φτάνει στο πάνω τμήμα της γήινης ατμόσφαιρας και αλληλεπιδρά με πυρήνα .
- Προκύπτουν δευτερογενή σωματίδια που επίσης αλληλεπιδρούν = shower.
- Ο καταιγισμός αυξάνει με το χρόνο.

- Κάποια από τα σωματίδια δε φτάνουν ποτέ στο έδαφος
- Κάποια άλλα, όπως τα μίονια φτάνουν και ανιχνεύονται (εκτεταμένος καταιγισμός).



Cosmic Ray Showers

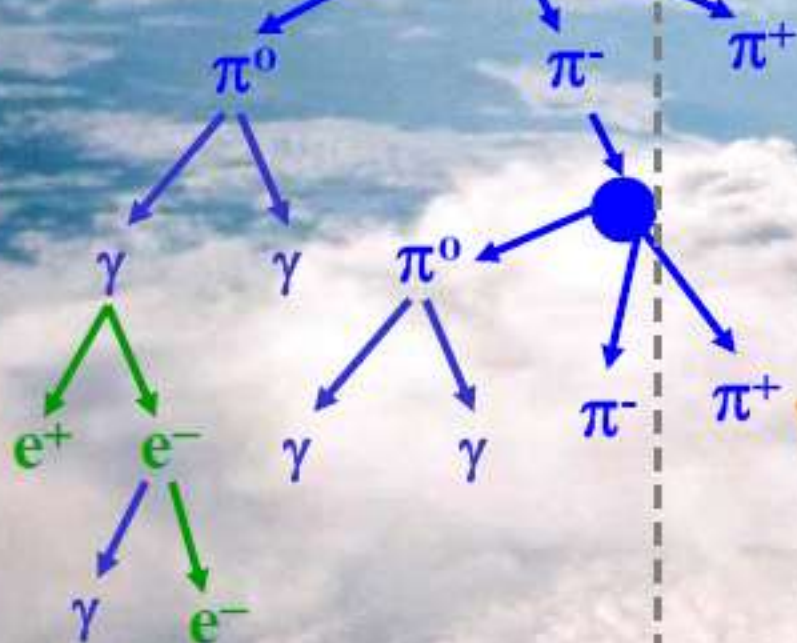
Space

Earth's atmosphere

"Primary" Cosmic Ray
(Ion, for example a proton)

Atmospheric Nucleus (30km high typically)

"Secondary" Cosmic Rays...
(about 50 produced after first collision
Billions total possible)



ν_μ
neutrino

μ^+
Muon
(~ 4 GeV, $\sim 150/s/cm^2$)

Creating: **Electromagnetic Shower**
(mainly γ -rays)

Hadronic Shower
(mainly muons and neutrinos
reach earth's surface)

Plus some:
Neutrons + $^{14}\text{N} \rightarrow$
 $\rightarrow ^{14}\text{Carbon} + p$

Πιόνια και Καόνια: Έχουν ψηλές ενέργειες για να δημιουργήσουν άλλα σωματίδια (κυρίως αδρόνια → αδρονικός καταιγισμός)

Τελικά , π, κ και άλλα ασταθή σωματίδια διασπώνται σε μίονια (ή ηλεκτρόνια) και νετρίνα,.

Τα ουδέτερα πιόνια διασπώνται γρήγορα σε δύο φωτόνια → ηλεκτρομαγνητικός καταιγισμός. Τα φωτόνια παράγουν ζεύγος e^+e^- που παράγουν φωτόνια (ακτινοβολία bremsstrahlung).

- Ηλεκτρόνια χαμηλής ενέργειας χάνουν ενέργεια μέσω ιονισμού χωρίς την παραγωγή και άλλων φωτονίων.**

Καθώς τα δευτερογενή σωμάτια αυξάνουν σε αριθμό, η ενέργειά τους μειώνεται. Στο τέλος προκύπτουν κάποια σωμάτια τα οποία δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να παράξουν νέα σωμάτια . Τελικά ο αριθμός των σωματιδίων του καταιγισμού, τείνει στο μηδέν

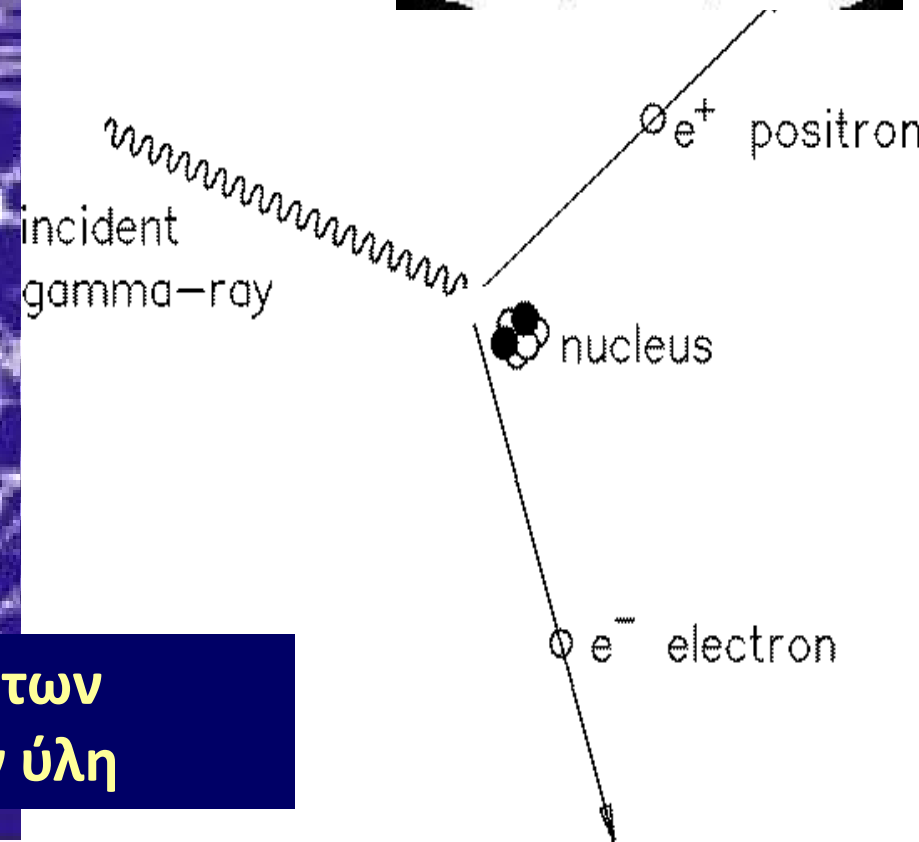
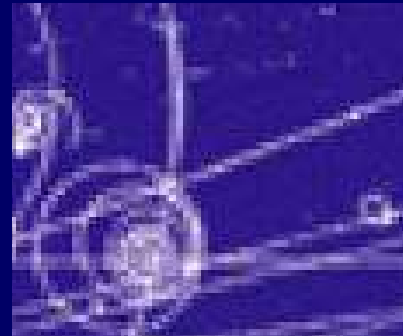
Ηλεκτρομαγνητικές διαδικασίες στους καταιγισμούς της ΚΑ

Παραγωγή ζεύγους e^+e^- :

Δημιουργία δύο ηλεκτρονίων, ένα με αρνητικό φορτίο και ένα με θετικό (ποζιτρόνιο), από ένα ηλεκτρομαγνητικό παλμό (φωτόνιο) που ταξιδεύει μέσα στην ύλη

Για να δημιουργηθεί το ζεύγος, η ενέργεια του φωτονίου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη μάζα δύο ηλεκτρονίων δηλ. 1.02 MeV ($m_e = 0.51 \text{ MeV}$)

Είναι βασικός τρόπος απορρόφησης των ακτίνων γ υψηλής ενέργειας από την ύλη

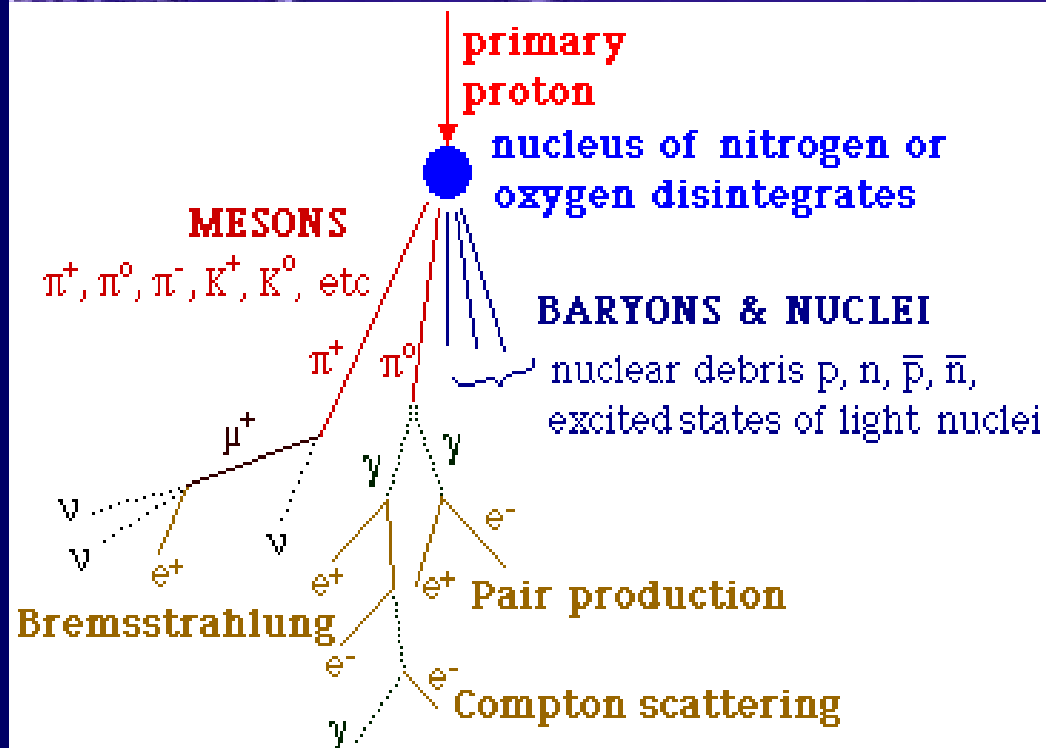


Μιόνια

Μιόνια: Τα πιο πολυάριθμα ενεργητικά σωματίδια στην επιφάνεια της θάλασσας.

Αντιδρούν πολύ λίγο με την ύλη (εκτός από την περίπτωση του ιονισμού). Άρα ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις και συνήθως φτάνουν στη γη.

Έχει χρόνο ζωής 2 εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου (Special Relativity). Σχετικιστικό σωματίο, ταξιδεύει $\sim 700\text{m}$



$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

Νετρίνα που έρχονται κάθετα στη γη παράγουν καταιγισμούς που δεν μπορούν να διαχωριστούν από αυτούς των ΚΑ.

Για showers που έχουν μεγάλη κλίση ως προς το έδαφος είναι δυνατό να ανιχνευτούν διαφορετικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από τα διαφορετικά πρωτογενή σωμάτια

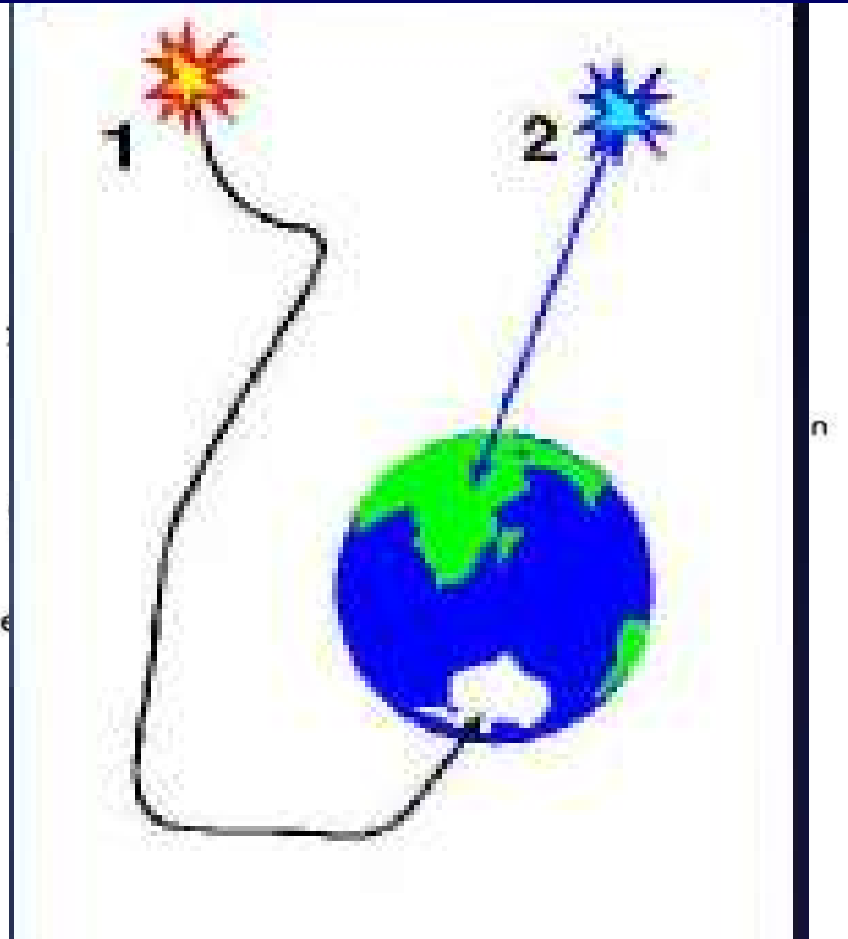
Νετρίνα

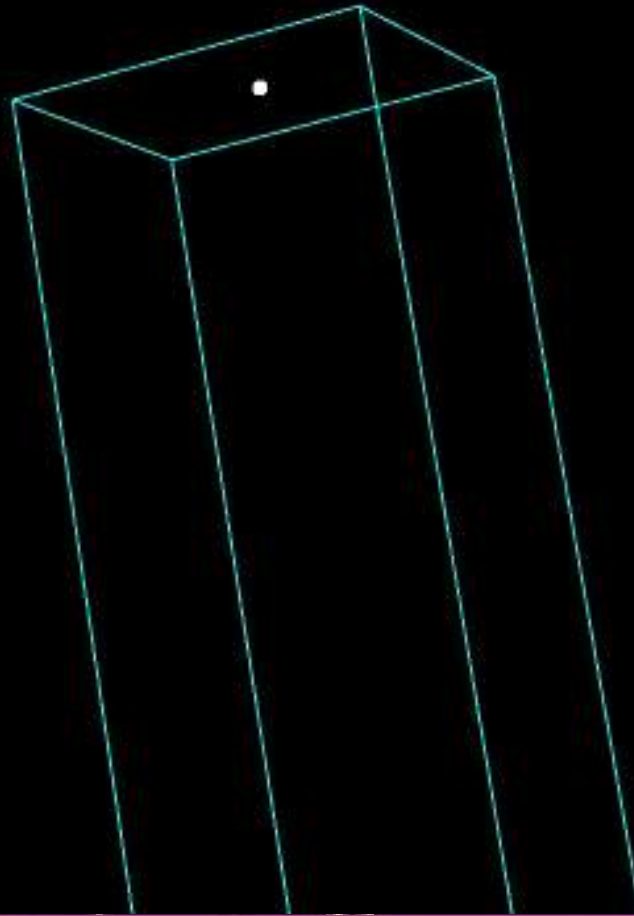
Τα νετρίνα είναι αγγελιοφόροι του σύμπαντος

Είναι παρόμοια με τα φωτόνια και καθόλου όμοια με τα φορτισμένα σωμάτια των ΚΑ.

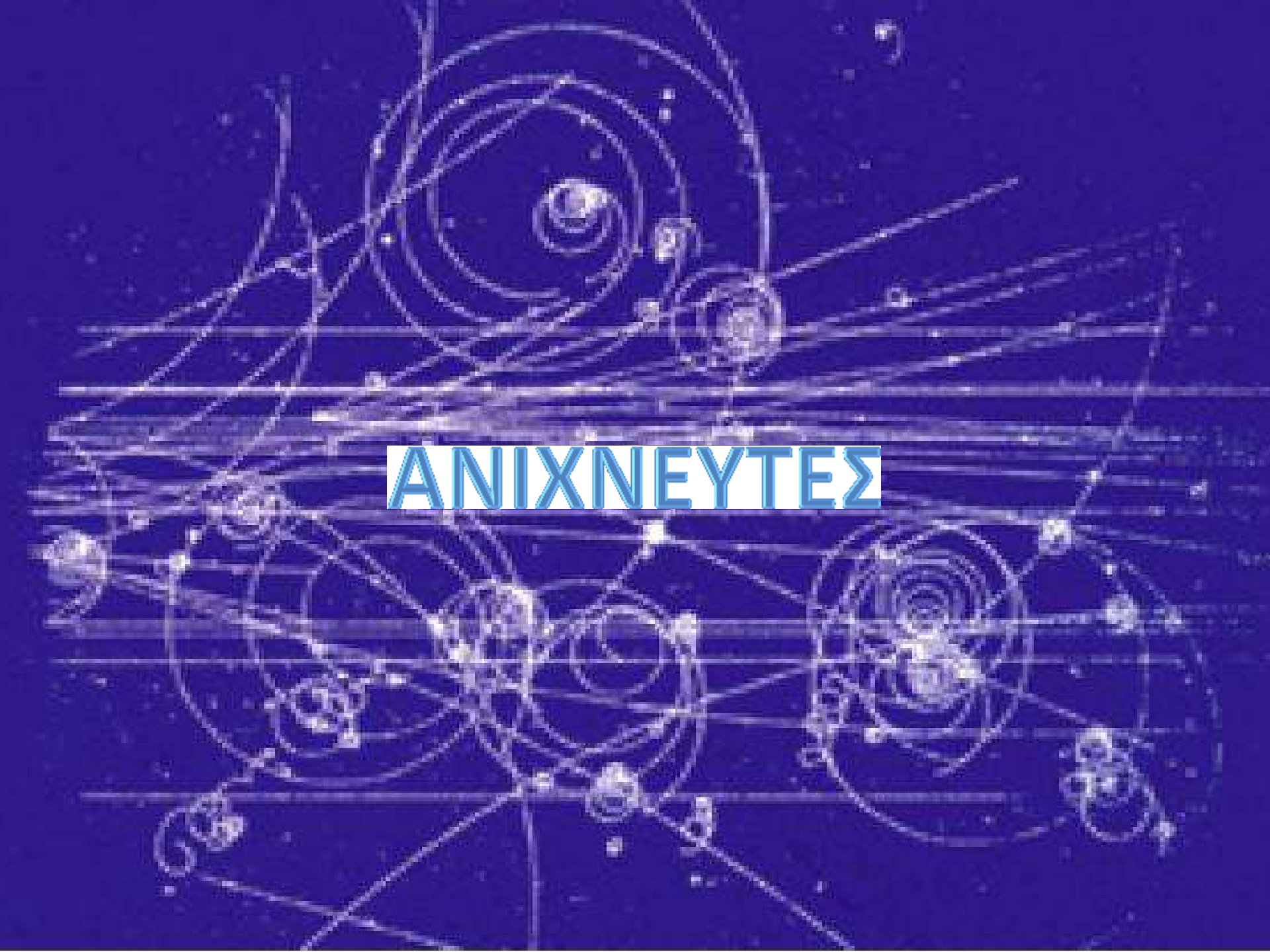
Κρατούν την πληροφορία της διεύθυνσης από την οποία έρχονται.

Αντίθετα από τις ακτίνες γ εκπέμπονται μόνο σε διαδικασίες παραγωγής αδρονίων
Φτάνουν ανεπηρέαστα στη γη





1 πρωτόνιο, $E=1$ TeV, 20 km από επιφάνεια γης. e^- , e^+ πράσινο, μίονια
κοκκινο, ακτίνες γ μπλε



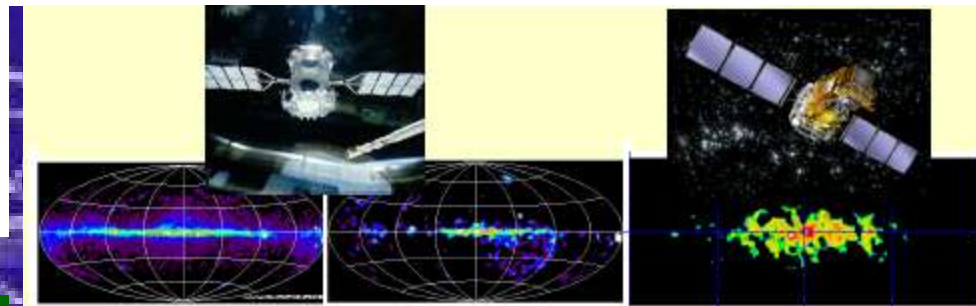
ANIXNEYTES

Ανιχνευτές στη γη

- Akeno Giant Air Shower Array
- CHICOS
- High Resolution Fly's Eye Cosmic Ray Detector
- MARIACHI
- Pierre Auger Observatory
- Telescope Array Project
- Washington Large Area Time Coincidence Array
- CLOUD
- Spaceship Earth (detector)
- Milagro
- Real-time Neutron Monitor Database (NMDB)
- KASCADE
- GRAPES-3
- Chicago Air Shower Array (CASA)

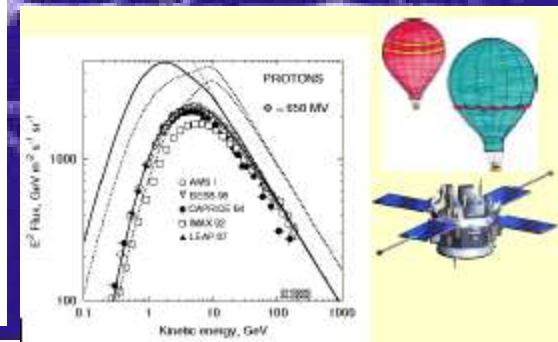
Πειράματα σε Δορυφόρους

- PAMELA
- Alpha Magnetic Spectrometer
- ACE(Advanced Composition Explorer)
- Voyager 1 and Voyager 2
- Cassini-Huygens
- HEAO 1, Einstein Observatory(HEAO2), HEAO 3
- Fermi Gamma-ray Space Telescope
- Solar and Heliospheric Observatory
- Interstellar Boundary Explorer
- LUCID (Langton Ultimate Cosmic-Ray Intensity Detector)



Πειράματα σε μπαλόνια

- BESS(Balloon-borne Experiment with Superconducting Spectrometer)
- ATIC(Advanced Thin Ionization Calorimeter)
- TRACER (cosmic ray detector)
- TIGER
- Cosmic Ray Energetics And Mass(CREAM)



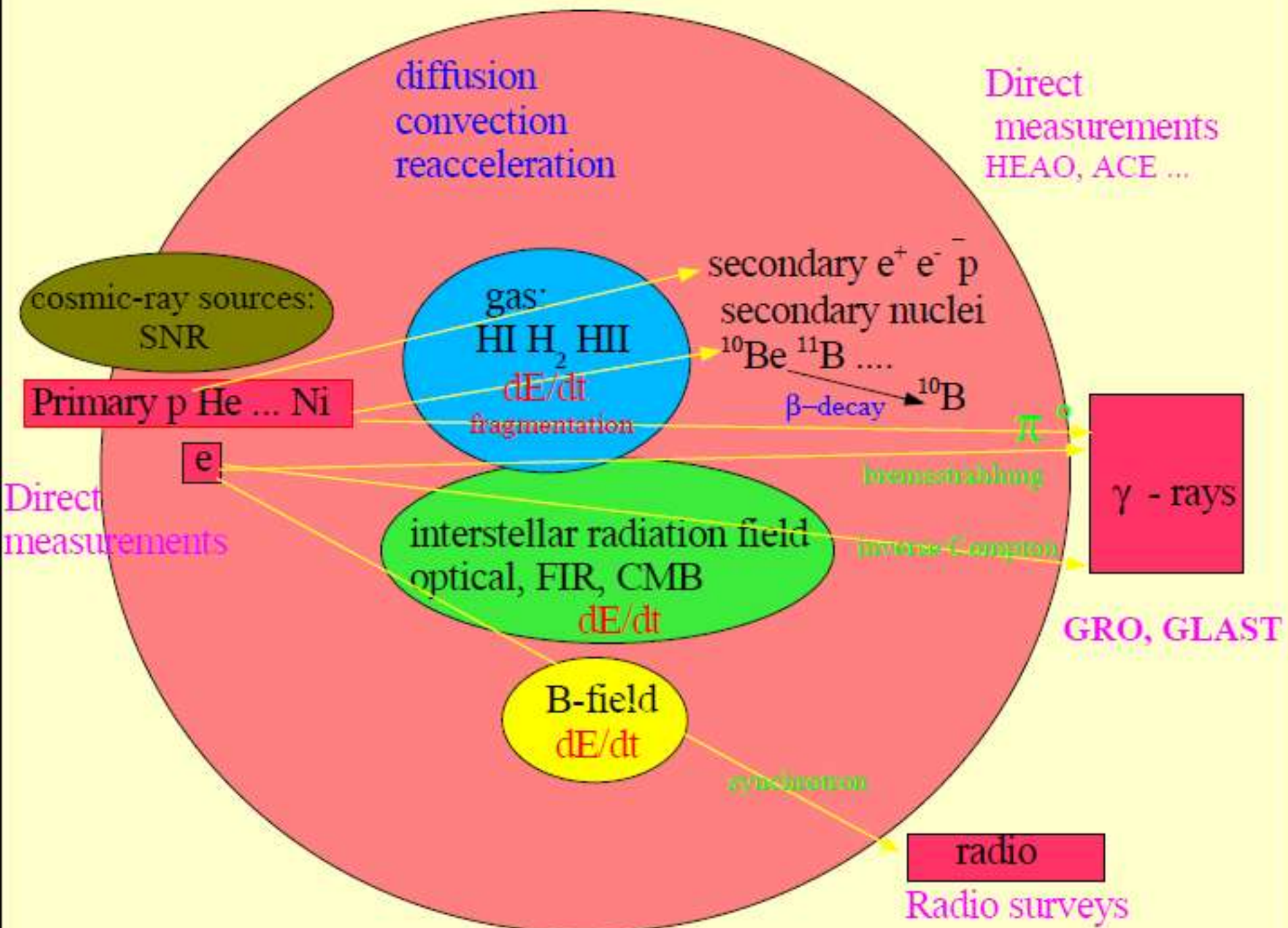
Είδη επίγειων ανιχνευτών (counter)

1) Ομάδα (array) = ανιχνευτικές διατάξεις
κατανεμημένες σε μεγάλη έκταση

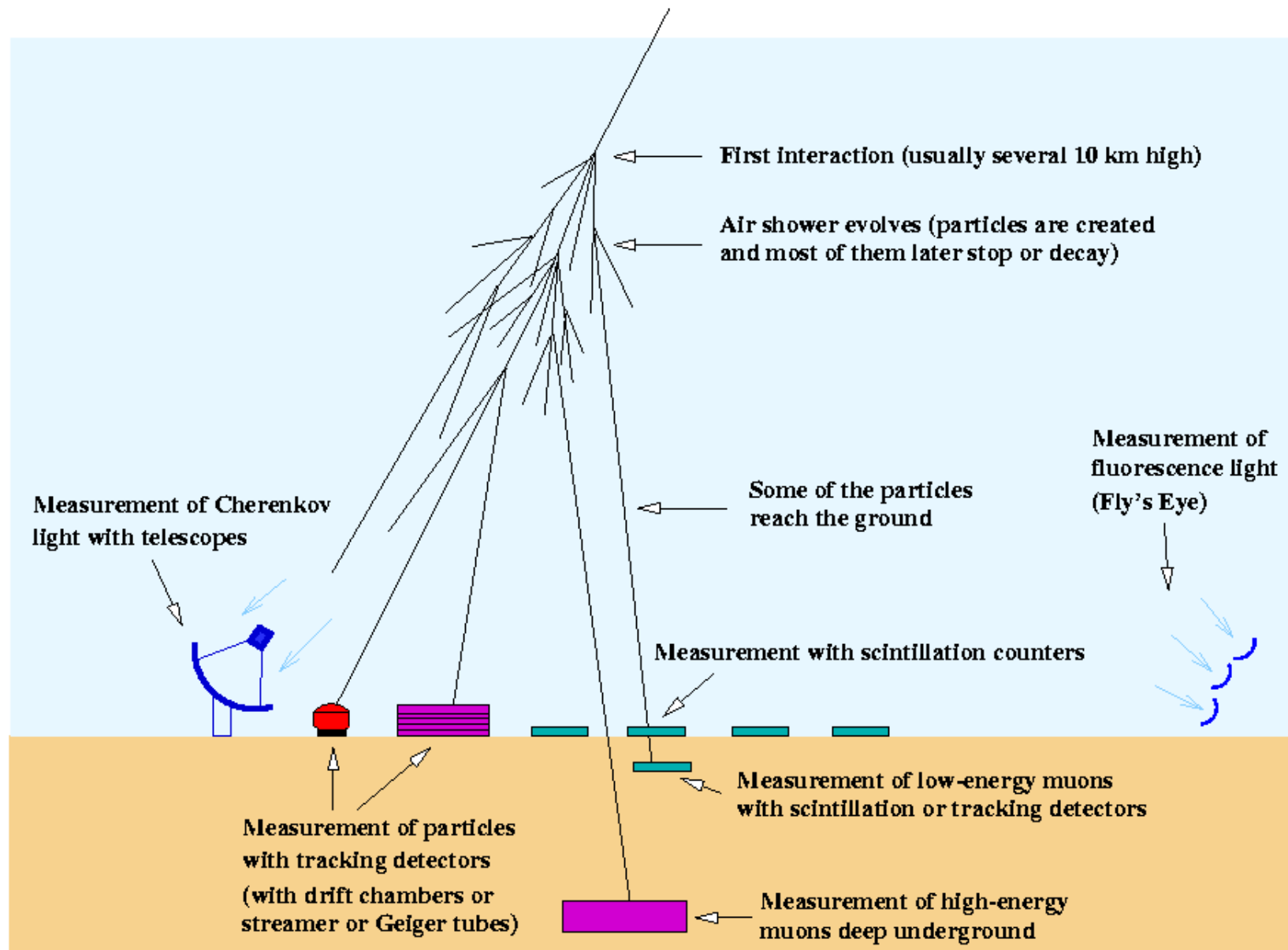
→ μέτρηση καταιγισμών

2) Ο ένας πάνω στον άλλο (stacked) = είναι έτσι
τοποθετημένοι ώστε να έχουν κοινό κέντρο

→ μέτρηση ροής



Measuring cosmic-ray and gamma-ray air showers



Όργανο μέτρησης μιονίων από ΚΑ στο εργαστήριο

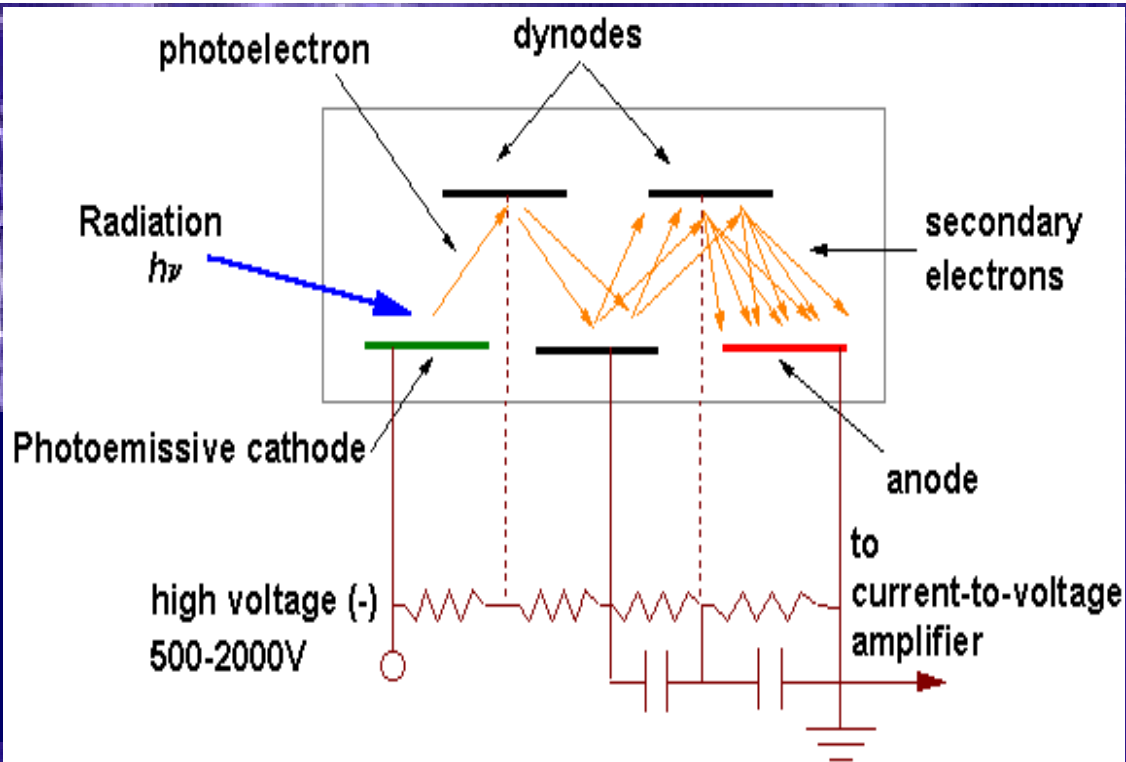
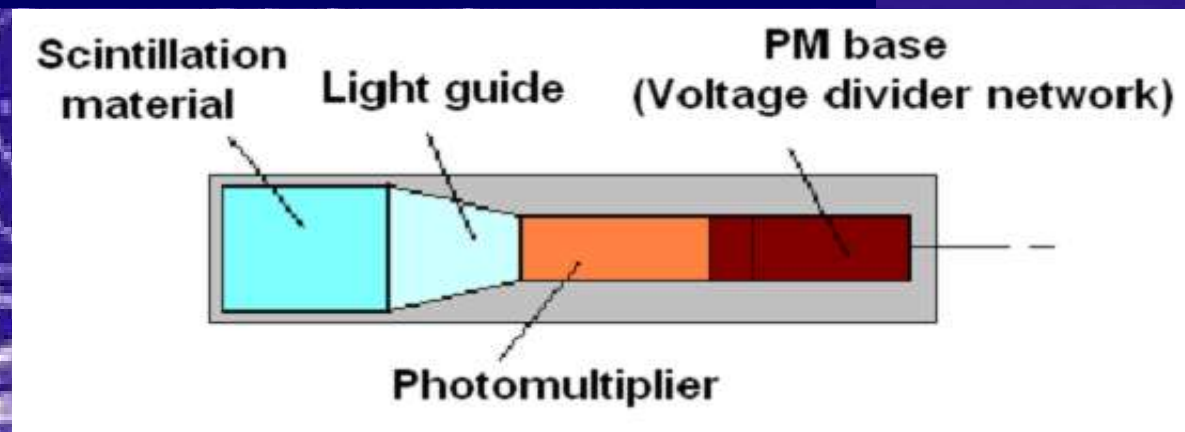
Ανιχνευτής Σπινθρισμού

Πλακάκι

σπινθρισμού (από οργανικό υλικό)

εκπέμπει φωτόνια χαμηλής ενέργειας όταν διαπερνάται κάθετα από σωματίδια υψηλής ενέργειας.

Τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας συλλέγονται από φωτο-πολλαπλασιαστές PMTs



Anti-Matter Regions

Cold Dark Matter



Microquasars



Gamma ray Astronomy

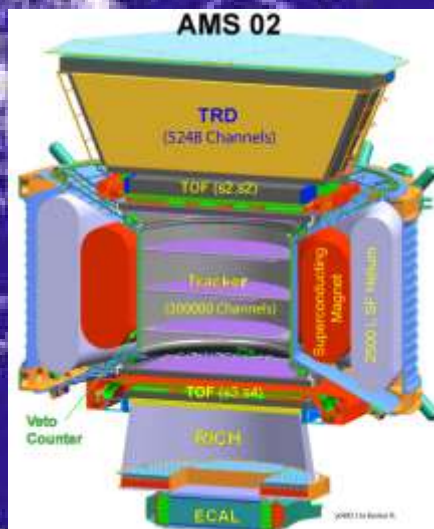
Age of galactic cosmic rays

Strangelets

The unknown??

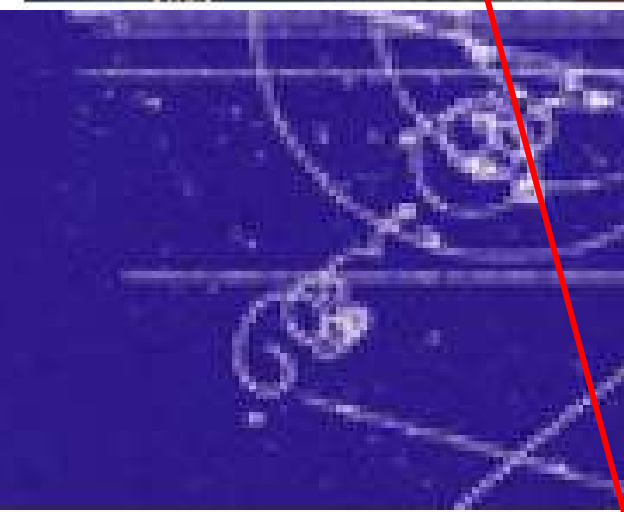
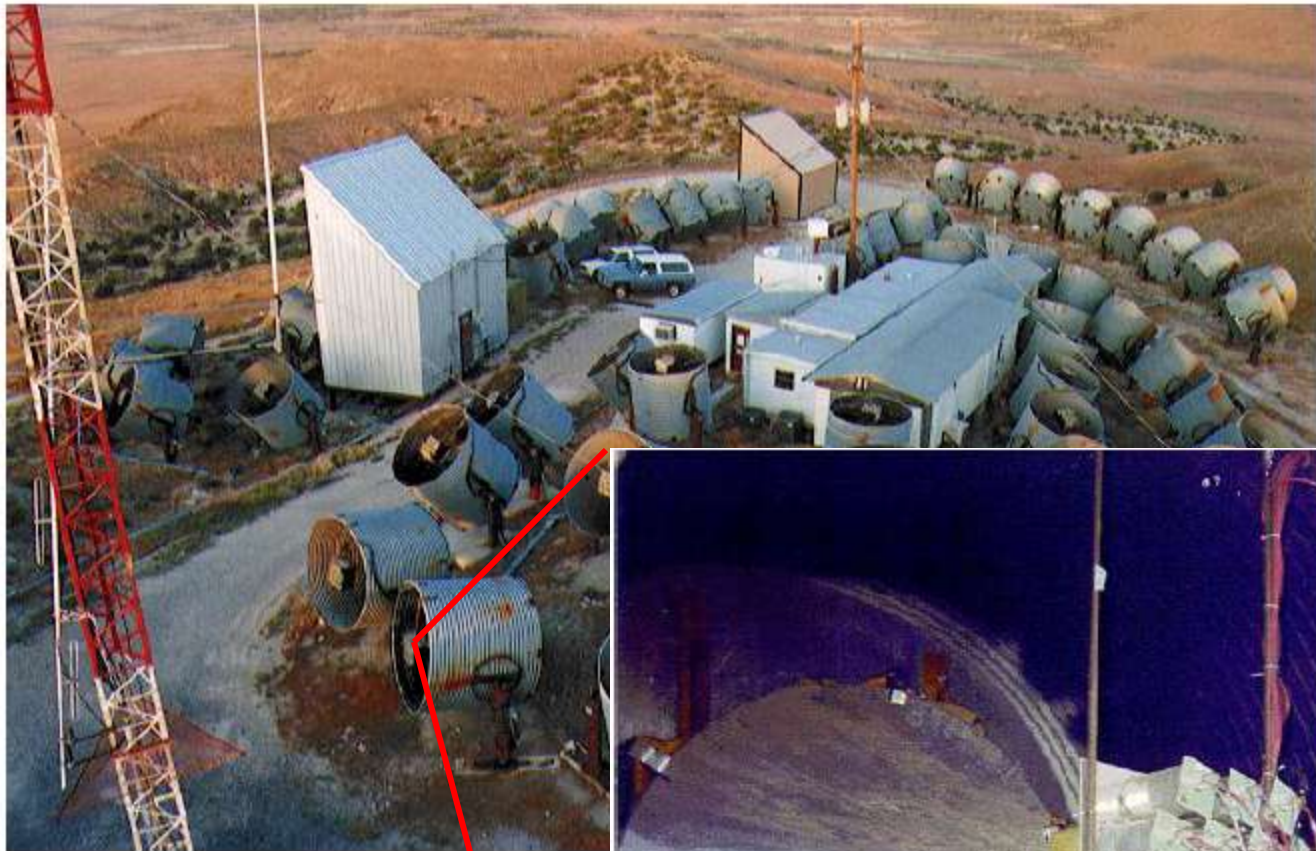
Primordial black holes

Earth's trapped particles

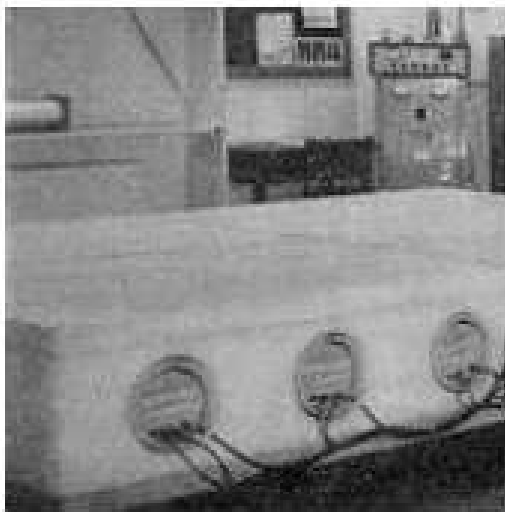


<http://ams.cern.ch/>

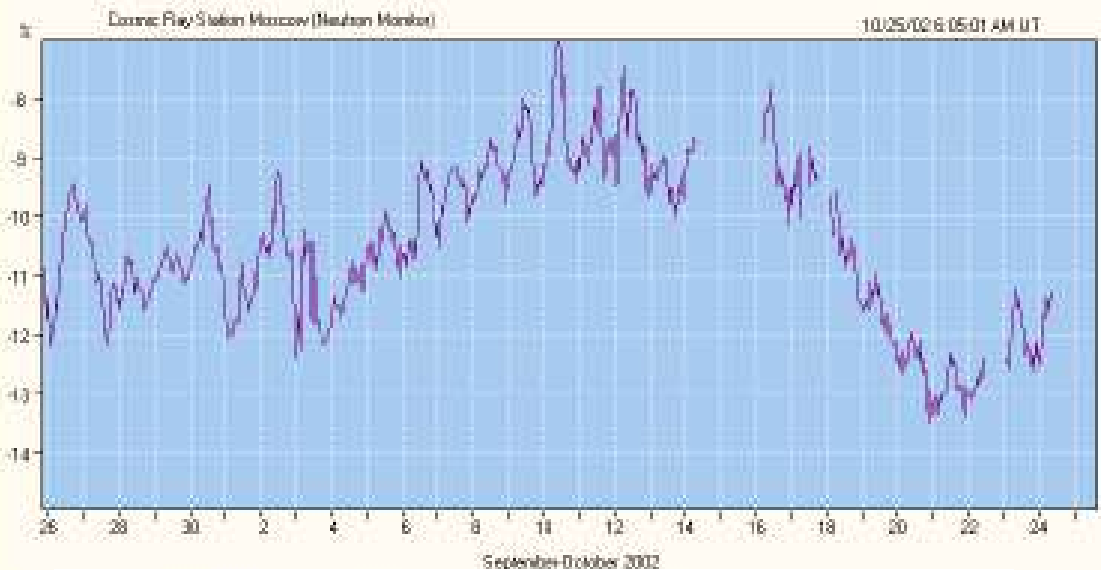
Fly's eye



Neutron Monitor



Construction of a typical neutron monitor (Bartol Inst)



Μαυρομιχαλάκη et al.

Μετράνε πρωτογενή ΚΑ (500 MeV-60 GeV). ΚΑ (νετρίνα) από ήλιο (σημαντικές μετρήσεις για ιπτάμενο προσωπικό)

Ευαίσθητα σε :
διαφορετικές διευθύνσεις άφιξης σωματιδίων
διαφορετικές περιοχές ενεργειών

Ανιχνευτές σε Λύκεια

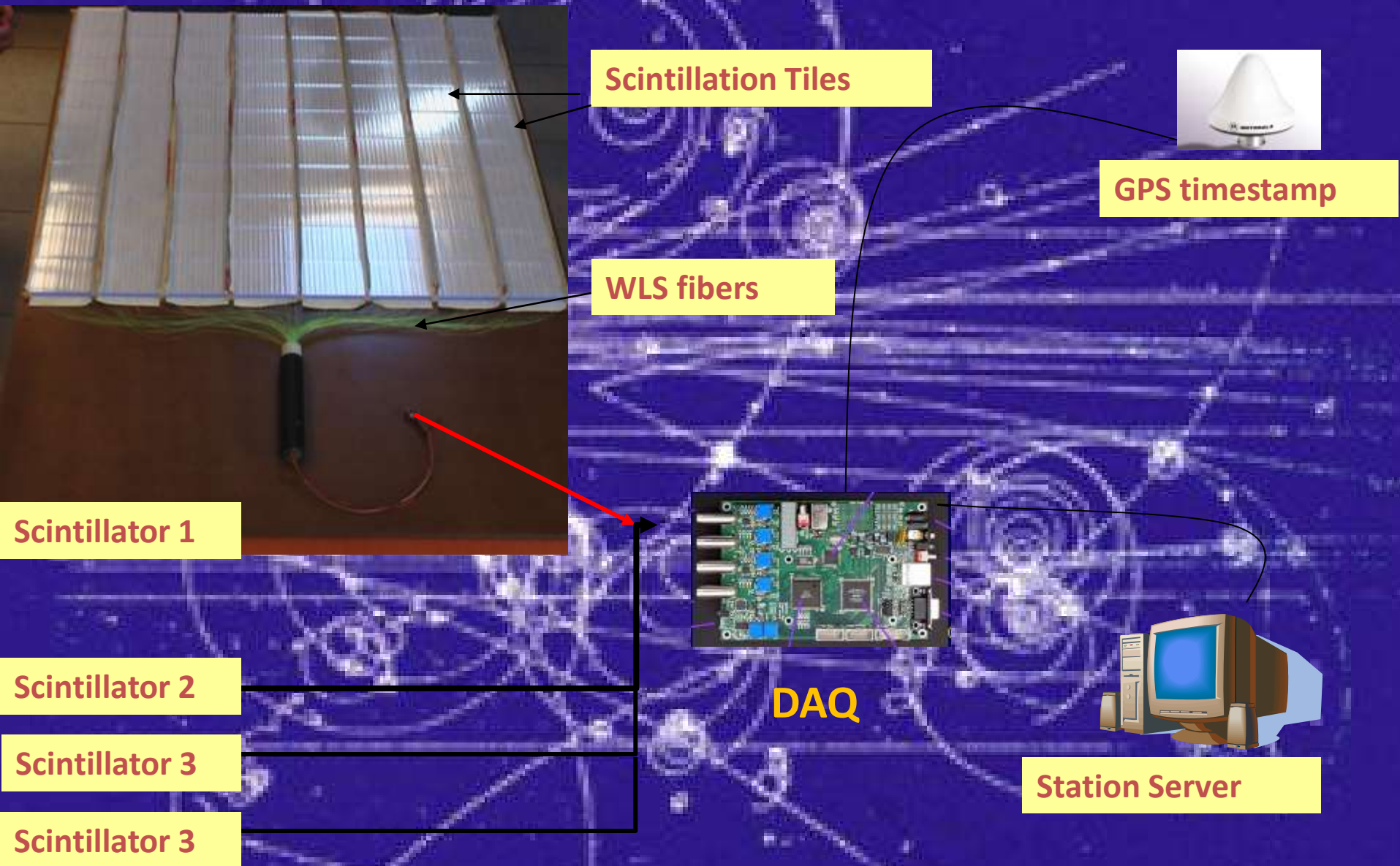
**Πολλές ομάδες ανιχνευτών σε ταρατσες
λυκείων/σχολείων...**

**Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν ομάδες
εκατοντάδων ανιχνευτών που καλύπτουν
επιφάνειες $1000^{\omega\nu}$ km² ή μικρές ομάδες με
λίγους ανιχνευτές που καλύπτουν επιφάνειες
μερικών $100^{\omega\nu}$ m²**

HELYCON



The HELYCON Detector Module



Ραδιο-εκπομπή



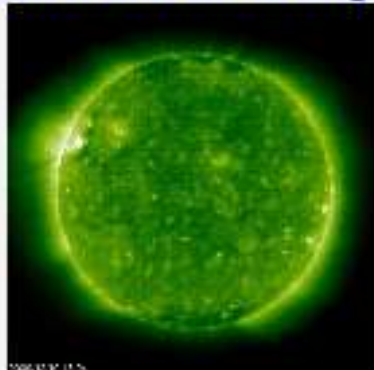


Επίδραση της ΚΑ στο κλίμα

Space Weather Now

2009 Dec 10 19:25 UTC (Dec 10 12:25 MST)

Latest SOHO EIT 195 Image



Alerts / Bulletins

Latest Alert: Oct 30 0714 UTC ALERT: Geomagnetic K-index of 4

Last Advisory Bulletin: None in last 7 days.

ACE Real-Time Solar Wind Pages



Average over last 15 minutes



10 frames/sec

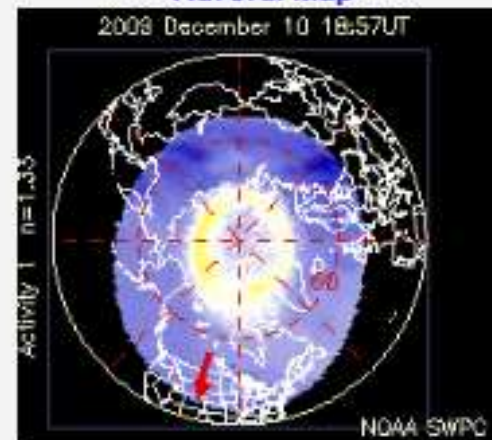
Space Weather User Groups

NOAA Scales Activity

Range 1 (minor) to 5 (extreme)

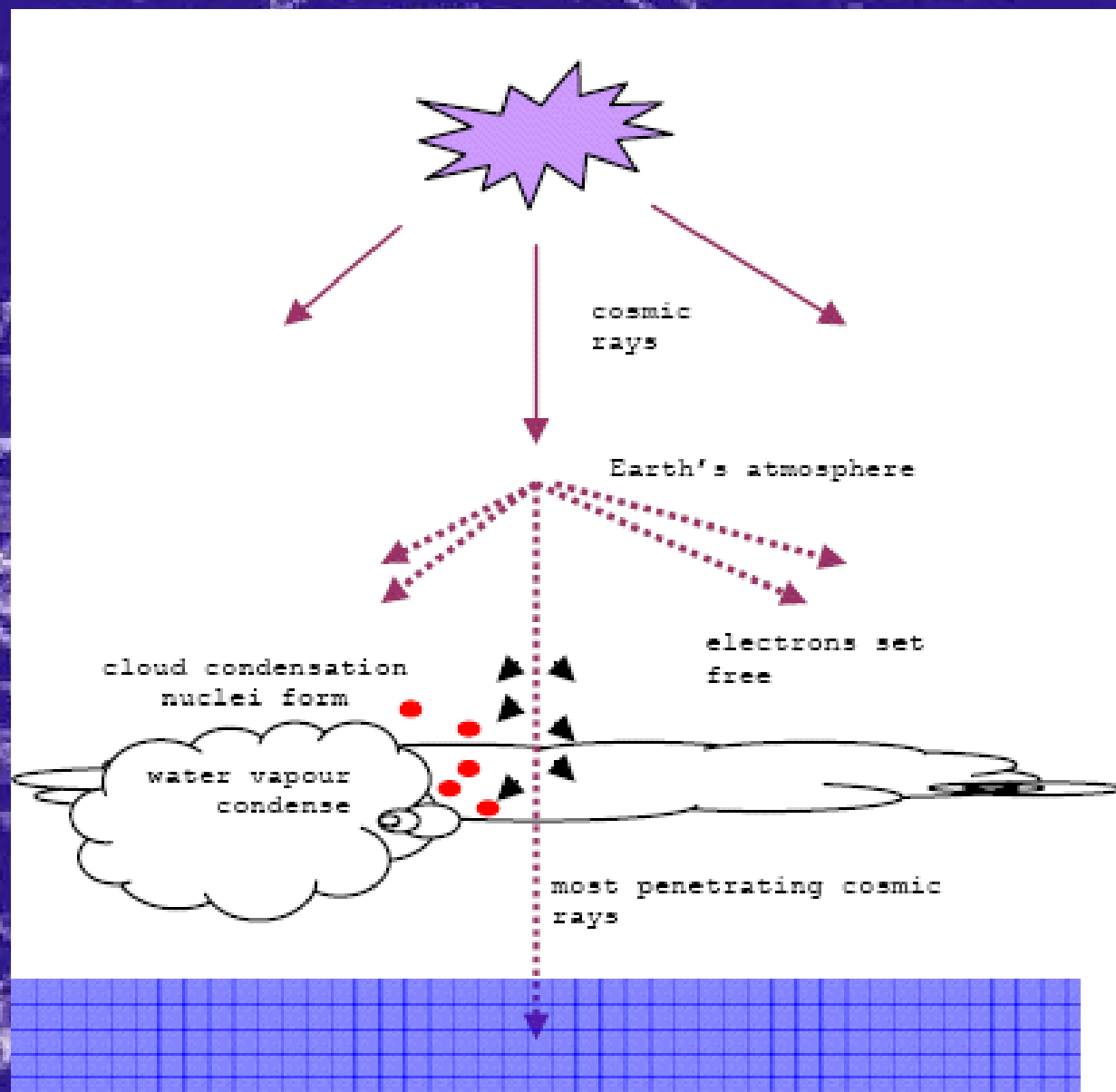
NOAA Scale	Past 24 hrs	Current
Geomagnetic Storms	none	none
Solar Radiation Storms	none	none
Radio Blackouts	none	none

Auroral Map



Solar Cycle Progression



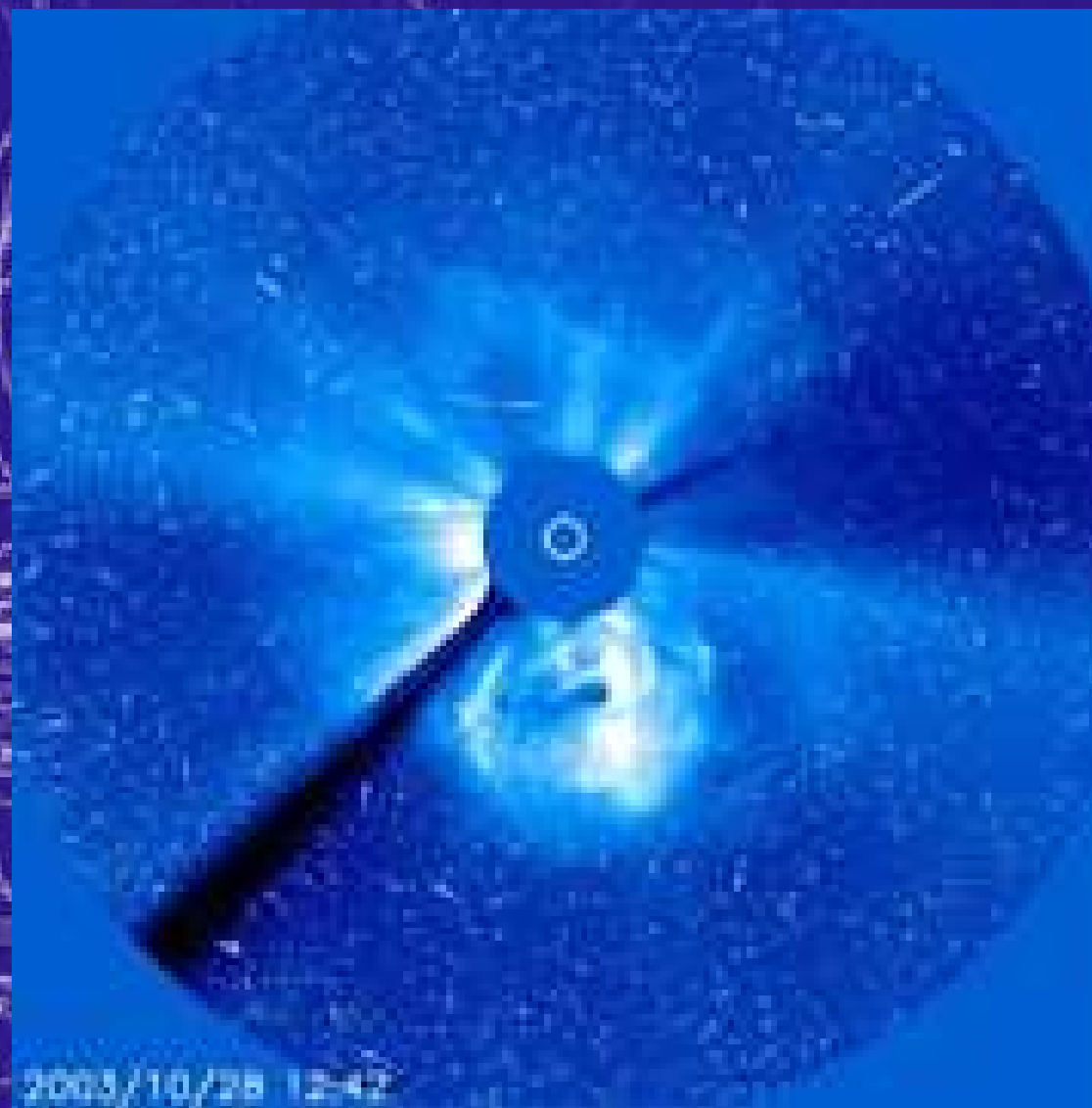






Επίδραση της ΚΑ στον άνθρωπο

Μετά από μια ισχυρή έκλαμψη (28 Οκτωβρίου 2003) εκτοξεύθηκαν τεράστια ποσά μάζας από το στέμμα που κατευθύνθηκαν προς τη γη και προκάλεσαν γεωμαγνητική καταιγίδα



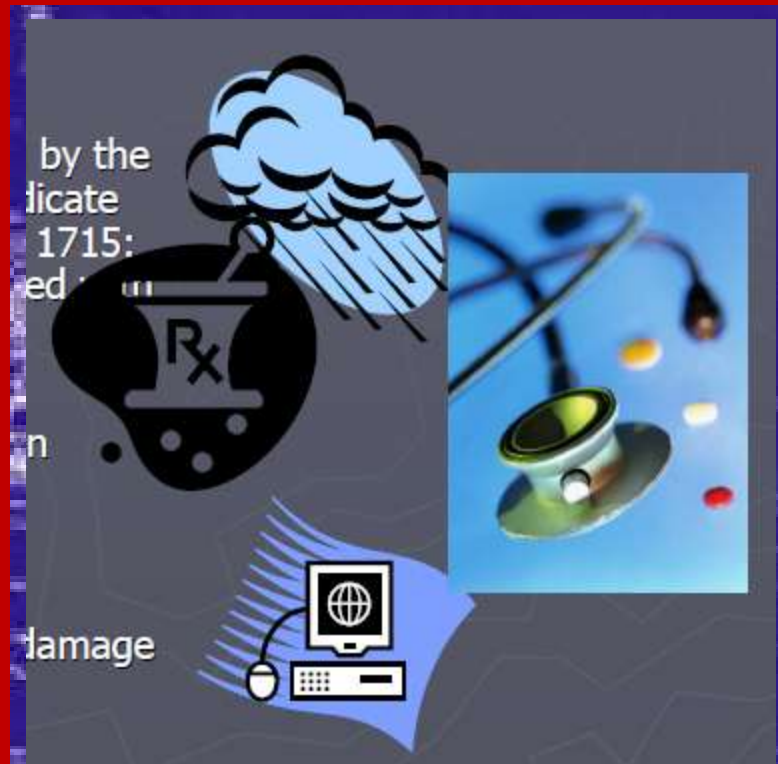
Η «καταγραφή χιονιού» στην εικόνα προέρχονται από ενεργητικά πρωτόνια που χτύπησαν το CCD της κάμερας. Η ακτινοβολία αυτή θα ήταν θανάσιμη για αστροναύτες στο διάστημα

Κοσμική Ακτινοβολία και Ζωή

► Καιρός

Επηρεάζεται από τον ήλιο: Η κοσμική ακτινοβολία περιγράφει την ηλιακή δραστηριότητα

(1645 – 1715: Μικρή εποχή Παγετώνων συσχετίζεται με μικρή ηλιακή δραστηριότητα



► Computers

Έντονες μεταβολές στη ροή της ΚΑ μπορεί να αλλάξει βασικές μονάδες στη μνήμη

► Υγεία

Υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας κυτταρικών ανωμαλιών σε μερικούς ανθρώπους

Κοσμική Ακτινοβολία και Ζωή

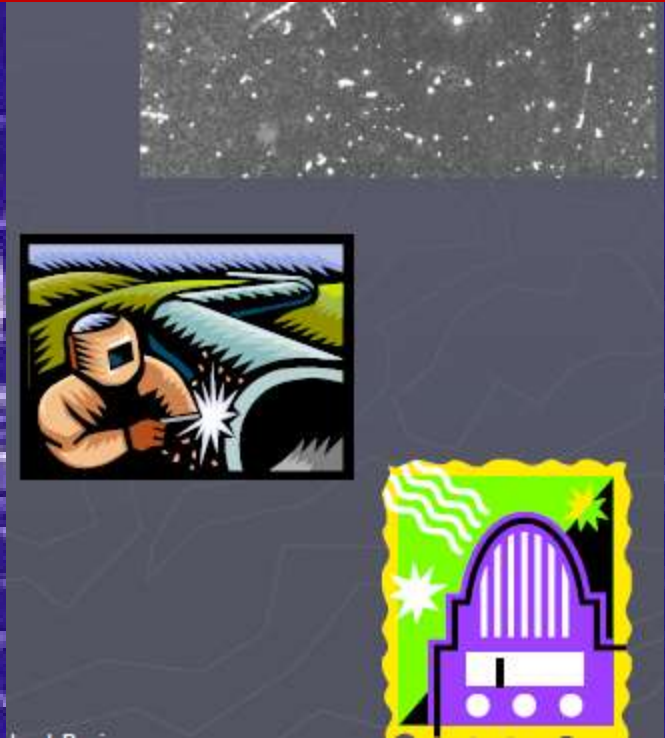
► Έρευνα στην Αστρονομία

Παρεμβολές στη λήψη εικόνας
image interference

► Τηλεπικοινωνίες

Αύξηση ηλιακής δραστηριότητας =
αύξηση # ιόντων = απορροφούμενα
ραδιοκύματα = αύξηση υποβάθρου του
θορύβου

Και παρεμβολές στη
ραδιοφωνική/ραδιοκυματική
μετάδοση/εκπομπή



► Καταστροφή / βλάβες
στα ηλεκτρικά καλώδια

Επηρεάζονται οι μεταβολές
ηλεκτρικού ρεύματος
βαθιά στη γη με

Κοσμική Ακτινοβολία και Ζωή

- ▶ Διακοπή Ηλεκτροδότησης
- ▶ Χρονολόγηση με τη μέθοδο του C-14

Το ισότοπο C-14 παράγεται από συγκρούσεις μεταξύ ΚΑ και ατόμων άνθρακα

- ▶ Aurora Borealis (Northern Lights)

Η ΚΑ που διεισδύει στο μαγνητικό πεδίο της Γης οδηγείται στις πολικές περιοχές. Τα ιόντα του αζώτου και του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα αντιδρούν με τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου και παράγουν φως/χρώμα



Έκθεση στις GCR

- Η δόση στο ανθρώπινο σώμα είναι από πρωτόνια και βαρύτερα ιόντα, με ενέργεια 10δες MeV έως ~ 10 GeV.
- Επιστήμες Υγείας: Ισοδύναμη δόση είναι η μέτρηση του κινδύνου πρόκλησης καρκίνου.
- **$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$**
 $1 \text{ Sv} \rightarrow$ αύξηση 3% στο θάνατο από καρκίνο.

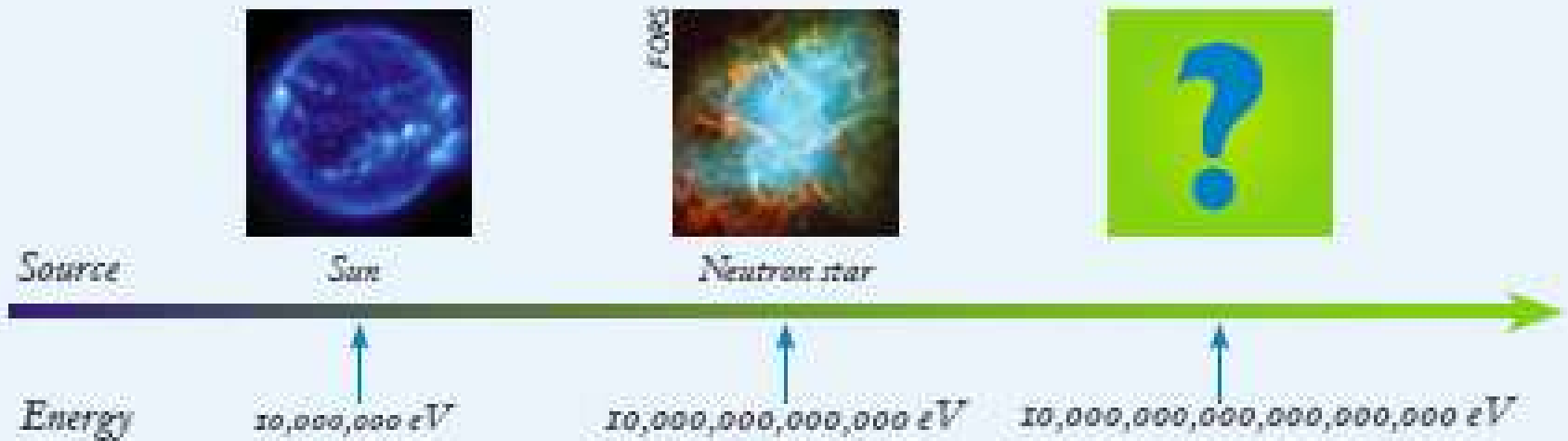
Εφαρμογές ΚΑ

- Σημαντική Εφαρμογή στη Βιοφυσική: Πρόβλεψη και παρακολούθηση των δόσεων της ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι αστροναύτες
- Θεραπεία καρκίνου με ακτινοβολίες γιατί παρόμοιες οι δέσμες πρωτονίων και βαρέων ιόντων (ενέργειες $\sim 200\text{-}300\text{ MeV}$). Σύμπλευση Πυρηνικής Φυσικής και Βιολογίας

Βαριά Ιόντα στο Διάστημα

- Ο ίδιος τύπος σωματιδίων που χρησιμοποιείται για να θεραπεύει τον καρκίνο μπορεί και να τον παράξει (ακόμα και αν οι δόσεις χαμηλές).
- Διαστημικές πτήσεις μεγάλης διάρκειας αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου, καταρράκτη, μπορεί και βλάβη του κεντρικού νευρικού συστήματος.

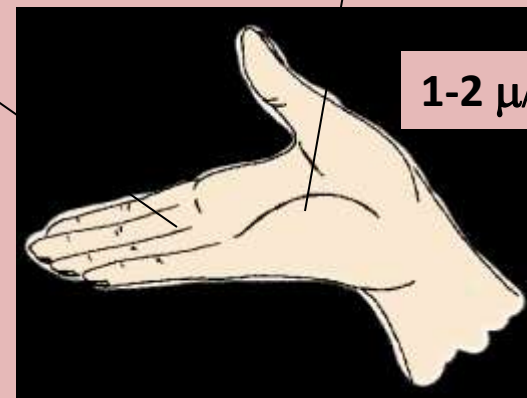
Περίληψη Ταξιδιού



- Η μελέτη της ΚΑ είναι πάρα πολύ χρήσιμη σε κάποιες περιοχές της Φυσικής και Αστρονομίας
- Η ΚΑ αποτελεί ένδειξη για την κατανόηση της σύστασης του σύμπαντος

Ευχαριστώ

Leonids 2001/11/19/3:9-3:19am(Japan)
photo by Yukio Sanuki(Ube,Yamaguchi)



1-2 μ /second

Όταν άρχισε η μελέτη της ακτινοβολίας (αρχές δεκαετίας του 1900), βρήκαν 3 διαφορετικούς τύπους ακτίνων:

- Ακτίνες α: πυρήνες ηλίου
- Ακτίνες β: ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια
- Ακτίνες γ: ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Από τη γνωστή ακτινοβολία, αυτή που εκπέμπεται από ραδιενεργά υλικά έχει τις υψηλότερες ενέργειες (MeV)

Η κοσμική ακτινοβολία περιλαμβάνει πολύ μεγαλύτερες ενέργειες (έως και 10^{20} eV!! $\Leftrightarrow$ με κινητική ενέργεια μπάλας μεσαίου μεγέθους που κινείται με ταχύτητα 100 miles/hr)

Για την Ιστορία

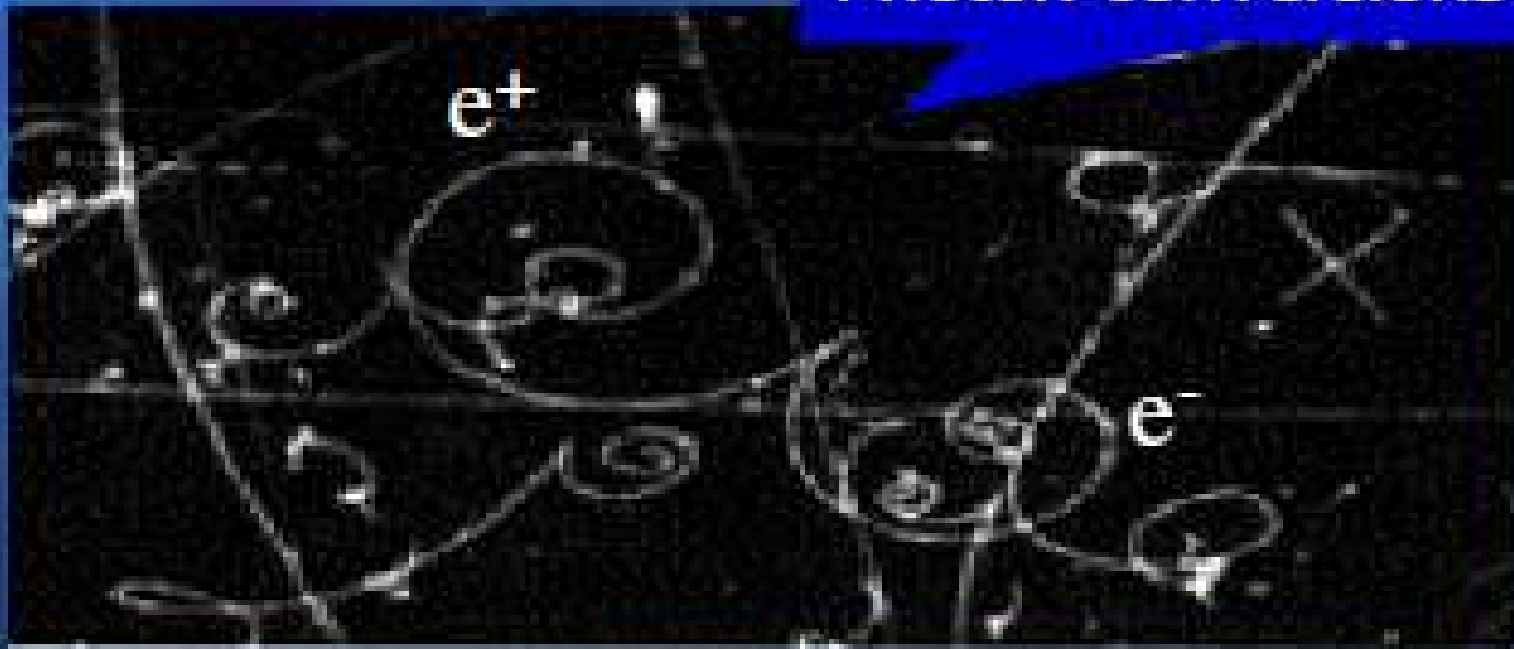
- C.T.R Wilson ανακάλυψε το 1900 το συνεχή ατμοσφαιρικό ιονισμό. Πιστευόταν ότι είναι αποτέλεσμα φυσικής ακτινοβολίας από τη γη. Δηλαδή από το έδαφος προς τα πάνω.
- Wilson παρατήρησε την επανεμφάνιση σταγονιδίων συμπύκνωσης σε διαστελλόμενο αέριο που δεν περιέχει σκόνη.

- Είδε τροχιές που υποπτεύθηκε ότι θα μπορούσαν να προέρχονται από συμπύκνωση ιονισμένων πυρήνων που ήταν το αποτέλεσμα κάποιας “παραλειπόμενης” αγωγιμότητας της ατμόσφαιρας

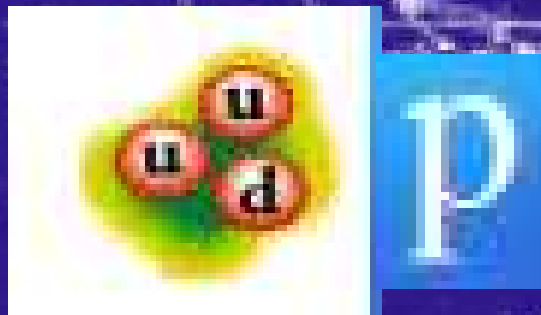


Το δοχείο: Wilson Cloud Chamber

Photon conversions $\gamma \rightarrow e^+ e^-$



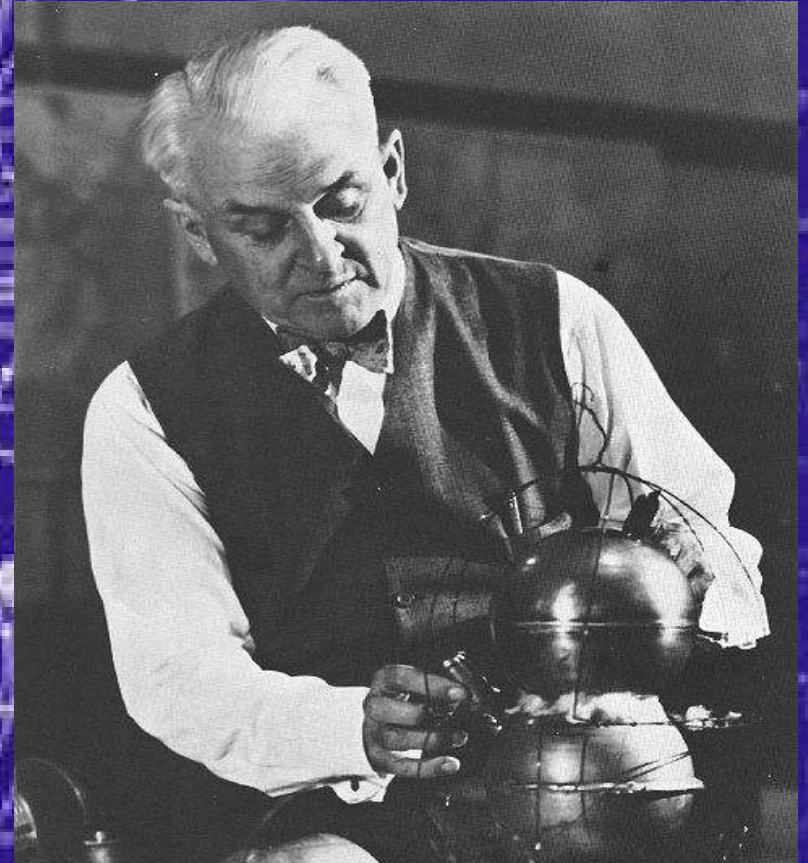
Αρχικά υπήρχε σύγχυση σχετικά με τον αριθμό και τις ιδιότητες των σωματιδίων που απαιτούντο για να εξηγήσουν όλα τα πειραματικά αποτελέσματα. Η κατάσταση απλοποιήθηκε με την ταξινόμηση που έγινε σε μεσόνια, βαρυόνια, και λεπτόνια.



LEPTONS		
electron	muon	tau
electron-neutrino	muon-neutrino	tau-neutrino

Γέννηση ΚΑ

- Το 1925 ο Robert Millikan στο Caltech εισήγαγε τον όρο “κοσμική ακτινοβολία” αφού συμπέρανε ότι τα σωματίδια ήρθαν από πάνω και όχι από κάτω από το cloud chamber.
- Χρησιμοποίησε ηλεκτροσκόπιο



Το ηλεκτροσκόπιο των κοσμικών ακτίνων

- Οι Millikan και Compton προσπαθούσαν να εξηγήσουν τη φύση των κοσμικών ακτίνων
- Compton υποστήριξε ότι θα έπρεπε να είναι φορτισμένα σωματίδια



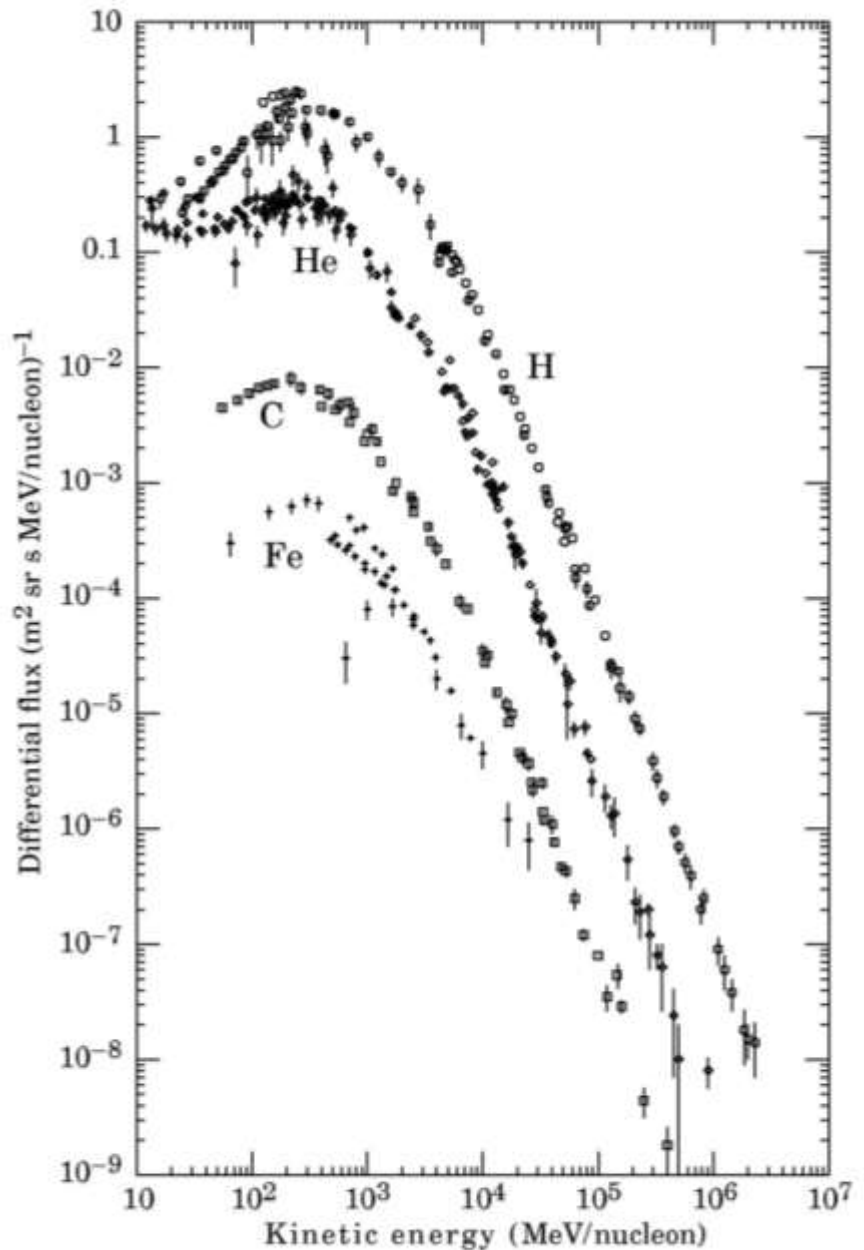
Το ηλεκτροσκόπιο του Millikan

Δεν προέρχονται από τον Ήλιο

- Κατά τη διάρκεια διαδοχικών πτήσεων ο Hess προσδιόρισε ότι η ακτινοβολία αυτή δεν προέρχεται από τον ήλιο γιατί ήταν ίδια μέρα και νύχτα.
- Αρχικά πιστευόταν ότι αποτελείται μόνο από ακτίνες γ .

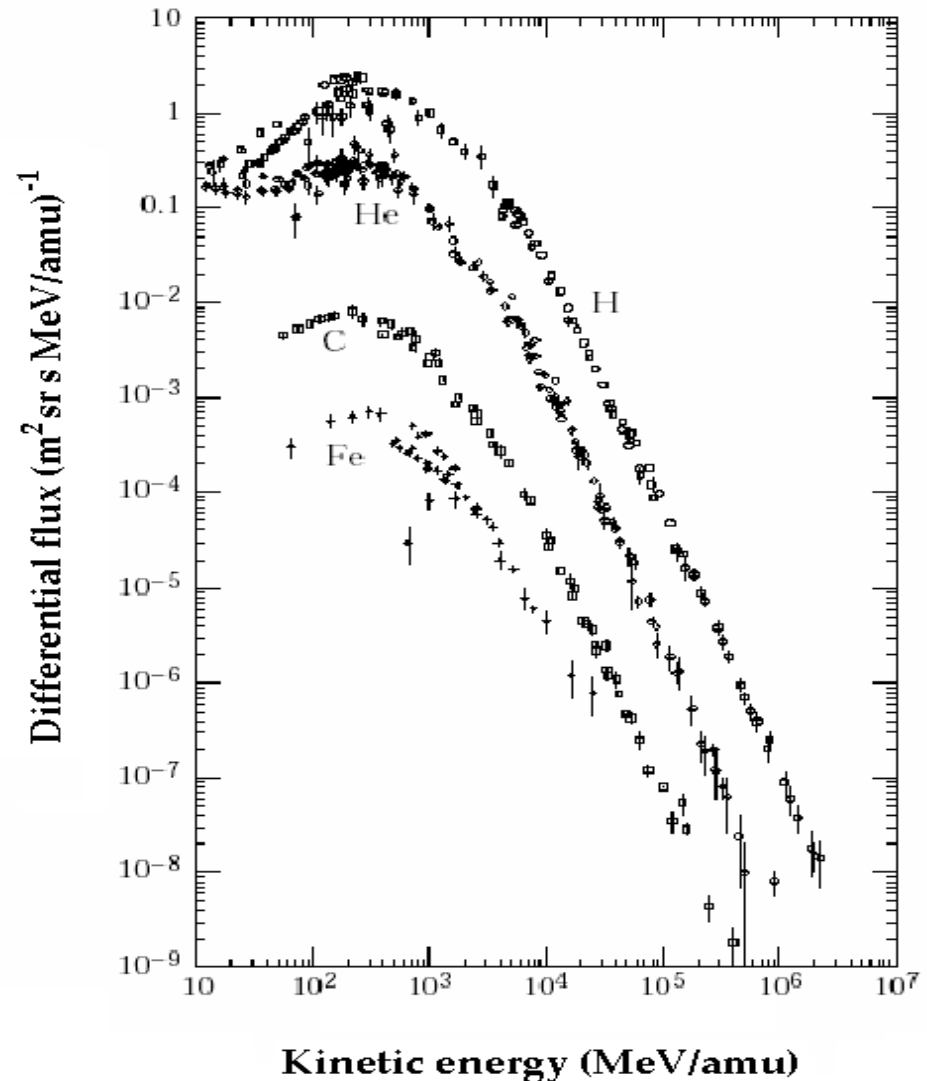
Φλασμα ενέργειας της ΚΑ

- Αρκετά παρόμοια μορφή
- Max ~ 100 MeV/nucleon
- φάσμα πέφτει απότομα

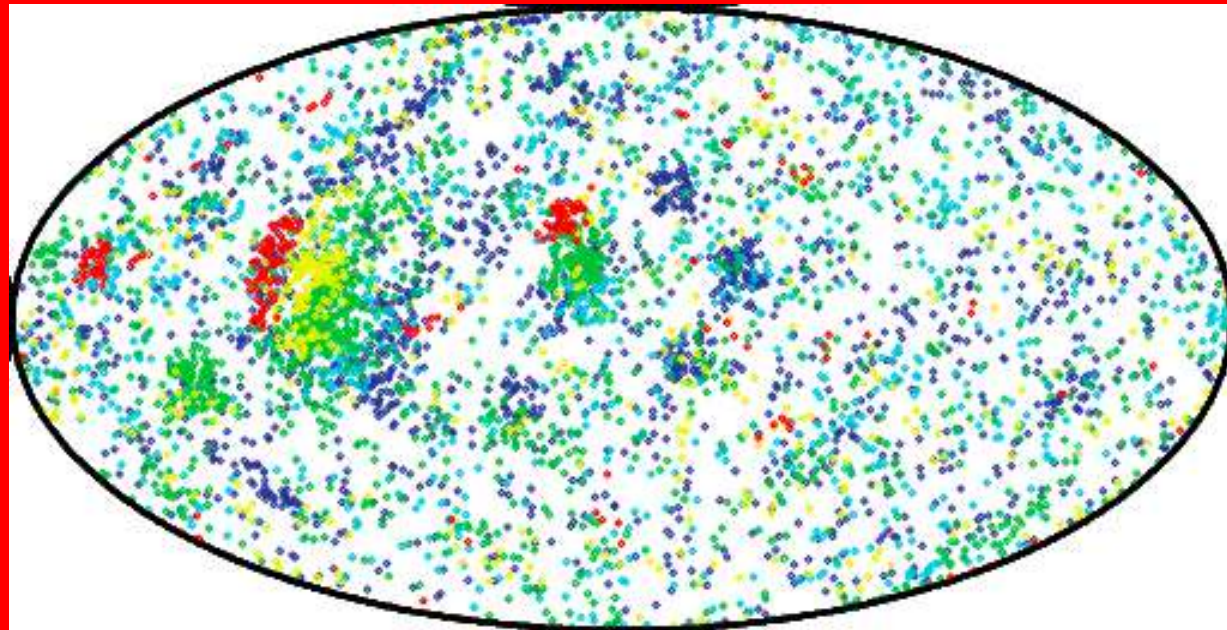


Φάσμα Κοσμικής ακτινοβολίας

- GCR $\sim 90\%$ πρωτόνια
- Από τα υπόλοιπα 10% μεγαλύτερος αριθμός He
- Ηλεκτρόνια και βαριά ιόντα ($Z > 2$) είναι 1-2% της ολικής ροής.
- Η συνεισφορά στη δόση ακολουθεί νόμο Z^2 ...



AGNs ανάλογα με τον τύπο τους: αναμένεται ανισοτροπία?



- $10^{19.0} \text{ eV} < E < 10^{19.1} \text{ eV}$
- $10^{19.1} \text{ eV} < E < 10^{19.2} \text{ eV}$
- $10^{19.2} \text{ eV} < E < 10^{19.4} \text{ eV}$
- $10^{19.4} \text{ eV} < E < 10^{19.6} \text{ eV}$
- $10^{19.6} \text{ eV} < E$

$$n_s = 5 \times 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$$

With the EGMF and the GMF

What arrives on earth? Reminder: Physics Particle Zoo

Leptons:

	electron	muon	tauon
+1	e^+	μ^+	τ^+
-1	e^-	μ^-	τ^-

Quarks:

Q			
+2/3	up	charm	top
-1/3	down	strange	bottom

Baryons: 3 quarks

Meson: quark + antiquark

Force carriers (bosons) Strong: g (8), Weak : Z^0, W^+, W^- , Electromagnetic: γ

Ordinary matter

proton = uud

neutron = ddu

Nuclei = combinations of protons, neutrons, and electrons

Pions: $\pi^+ = u\bar{d}$

26 ns lifetime – decay into μ^+ and ν_μ

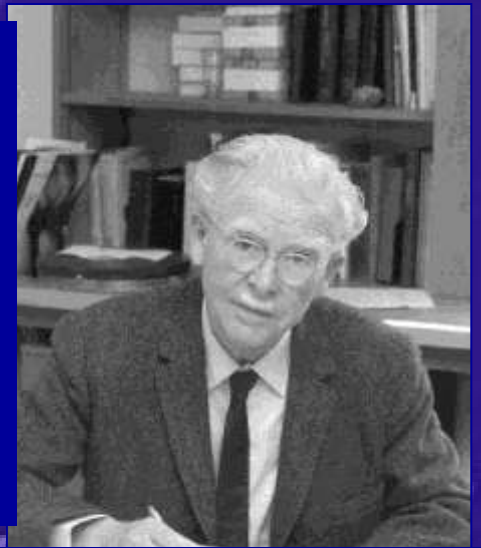
$\pi^- = d\bar{u}$

26 ns lifetime – decay into μ^- and ν_μ

$\pi^0 = u\bar{u} + d\bar{d}$

1e-17 s lifetime – decay into $\gamma\gamma$

Scott Forbush (1904 – 1984)



Μελέτησε τη χρονική μεταβολή της έντασης της ΚΑ όπως μετράται από τη γη από διάφορα γεωγραφικά πλάτη και μήκη και βρήκε συσχετισμούς με γεωφυσικά και ηλιακά γεγονότα: μαγνητικές καταιγίδες, ηλιακή δραστηριότητα, περιστροφή της γης και του ήλιου

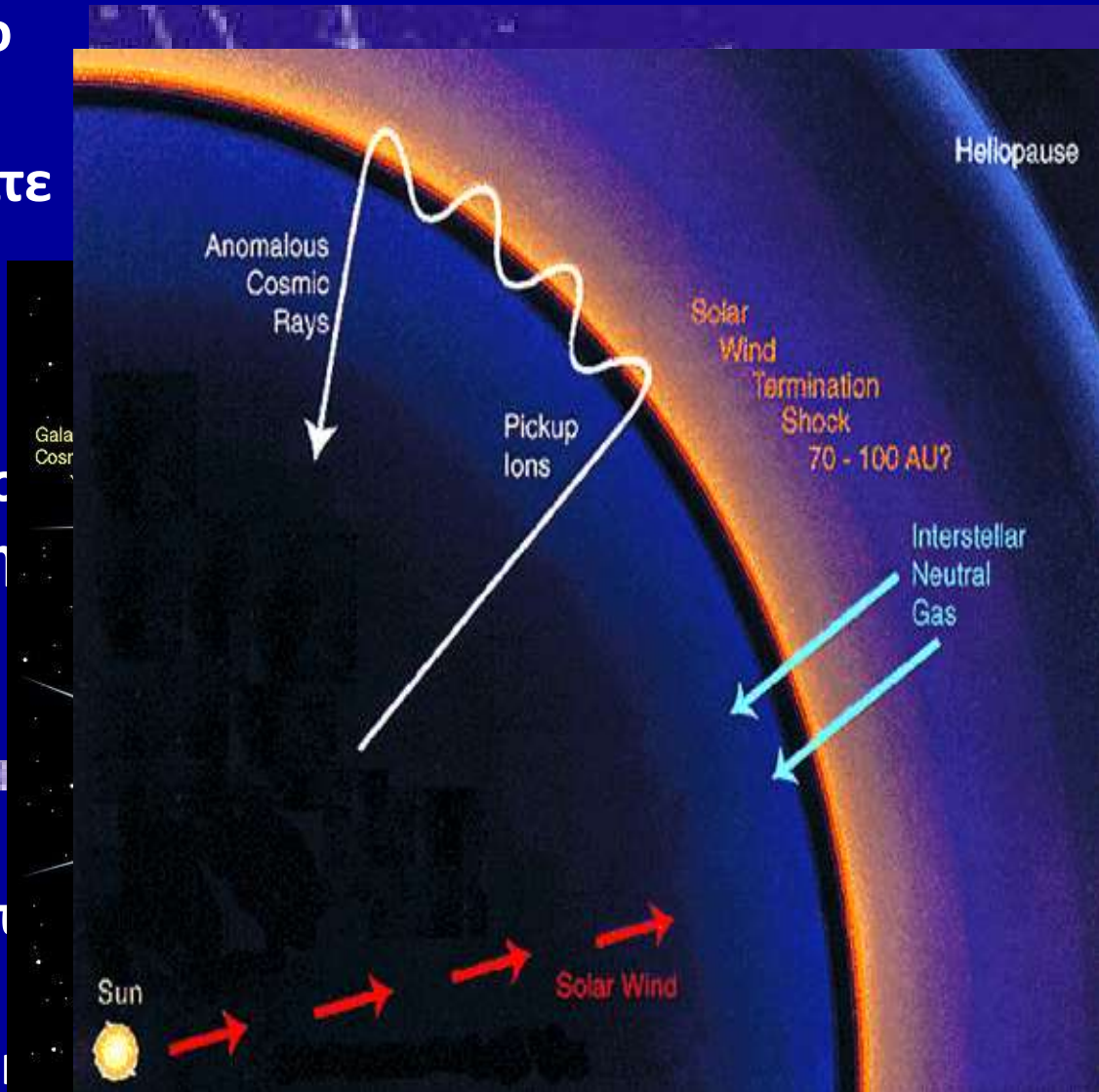
Συμπεριφορά ΚΑ:

- Η ένταση της ΚΑ είναι σχεδόν σταθερή ανά 27-μέρες
- Μεταβάλλεται μια φορά την ημέρα
- Απουσία ανιχνεύσιμης αστρικής μεταβολής μια φορά την ημέρα
- Σποραδική εκπομπή πολύ ενεργητικών φορτισμένων σωματιδίων (έως κάποια GeV) από ηλιακές εκλάμψεις
- Παγκόσμια έντονη μείωση της έντασης (Forbush decreases) ακολουθούμενη από βαθμιαία αύξηση
- 11-ετής μεταβολή της έντασης και της αντι-συσχέτησης με τον ηλιακό κύκλο
- 22-ετής κύκλος στο εύρος της μεταβολής ανά ημέρα

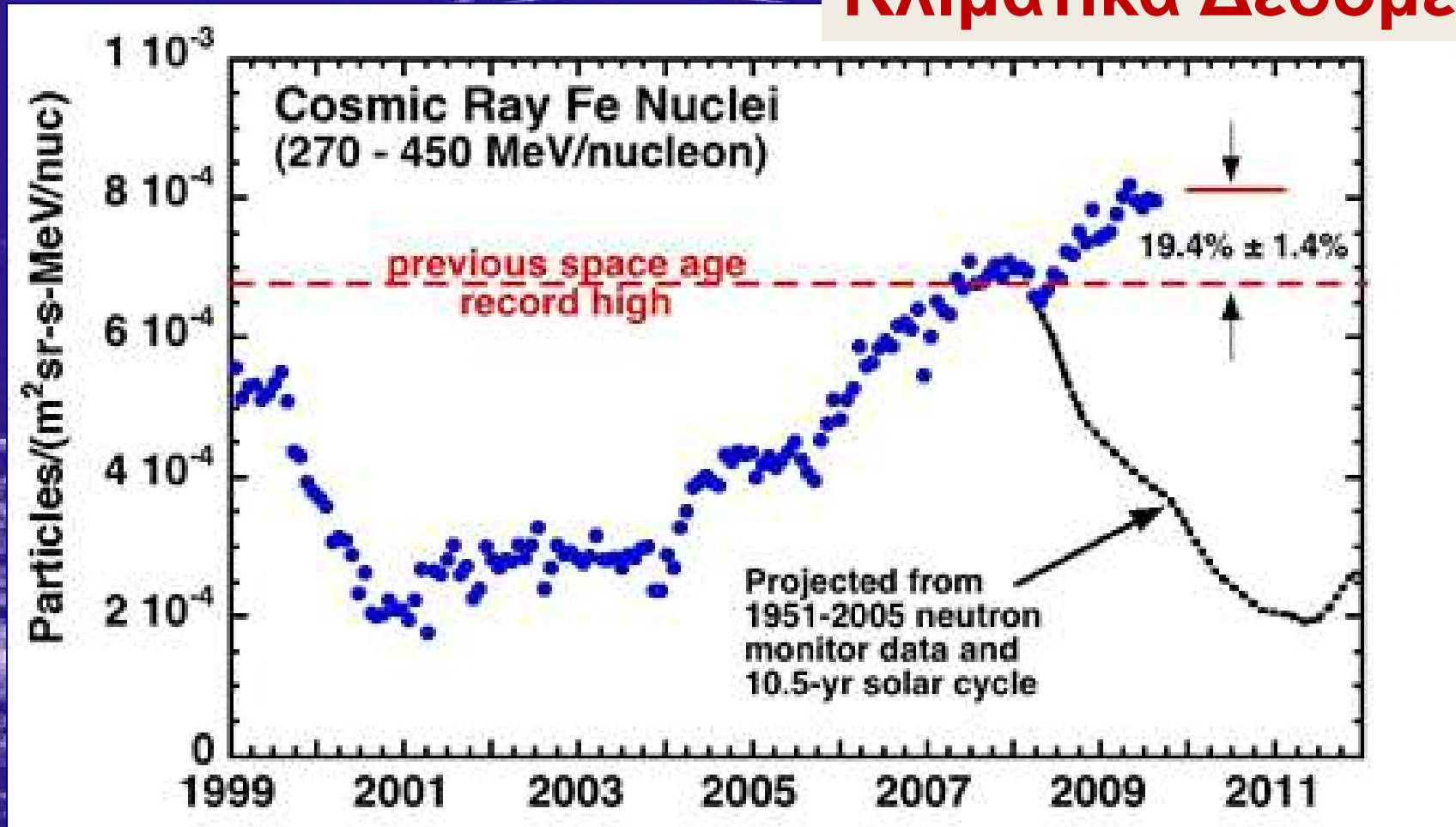
Ανώμαλες Κοσμικές ακτίνες (ACR)

Παράγονται από ουδέτερα άτομα στο ενδοαστρικό μέσο που διαπερνούν την ηλιόσφαιρα και ιονίζονται είτε από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία είτε από την αλληλεπίδρασή τους με τον ηλιακό άνεμο. Στην περίπτωση αυτή μεταφέρονται πίσω στην εξωτερική ηλιόσφαιρα από τον ηλ. άνεμο.

Στη συνέχεια τα σωματίδια επιταχύνονται από το κρουστικό κύμα στον ηλ. άνεμο και επανέρχονται στην εσωτερική ηλιόσφαιρα σαν ΚΑ



Κλιματικά Δεδομένα



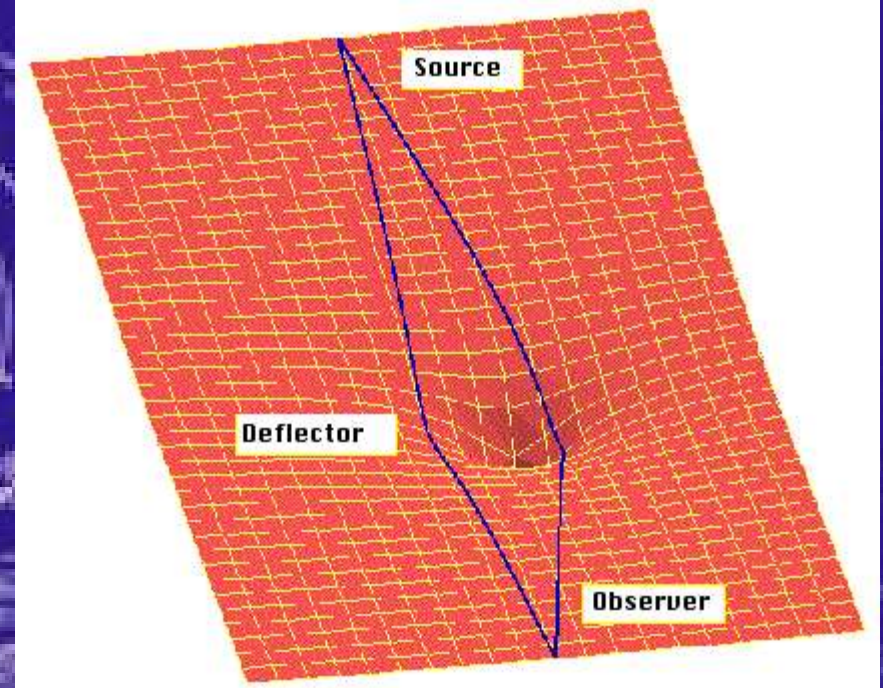
Μπορούν να επεκταθούν τα τμηματικά δεδομένα της ηλιακής δραστηριότητας από τη μέτρηση της έντασης της ΚΑ στη γη. Μπορούν να επεκταθούν πίσω στο χρόνο

Κοσμολογία

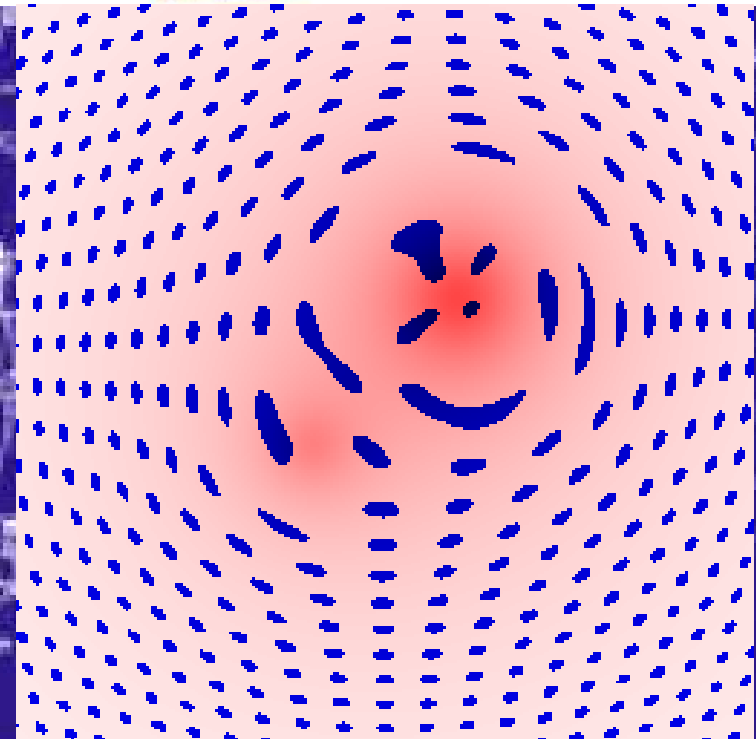


erse

Ο καμπυλωμένος χωρο
χρόνος είναι ο φακός



Μπορεί να δει κανείς
διαφορετικά σχήματα



intergalactic space

HALO

reacceleration

energy loss
decay

Secondary: ^{10}Be , ^{11}B ...

Secondary: e^+ p

cosmic-ray sources: p , He .. Ni , e^-

synchrotron

B

π^0

gas

ISRF

bremsstrahlung
inverse Compton

γ -rays





What is Dose Equivalent?

- Unit of dose is Gy = 1 J/kg. Purely physics.
- Unit of dose equivalent is Sv, same units, but with a weighting factor that varies by radiation type to approximate biological effectiveness.
- For exposure to a single radiation type, the specific radiation weighting factor is used, w_R .
 - $w_R = 1$ for γ , e^- , μ ; 5 for protons; 20 for α and heavier nuclei.
- For a mixed field, one integrates the “LET” spectrum (LET = dE/dx in water) vs. a “quality factor” which depends only on LET, $Q(L)$.